

5465/ITS/H/93 ✓

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
PROPAGASI GELOMBANG RADIO
PADA BEBERAPA
SISTEM STKB CELLULAR**



RSE
621.384 56
BDE
S-1
1992

Oleh :

ANTONIUS BOEDI UDHAYANA

NRP. 2842200151

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

1992

PERPUSTAKAAN	
I T	
Tgl. Ter	30 DEC 1992
Re. m	H.
No. A. e	672 / A

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
PROPAGASI GELOMBANG RADIO
PADA BEBERAPA
SISTEM STKB CELLULAR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro**

Pada

Bidang Studi Teknik Telekomunikasi

Jurusan Teknik Elektro

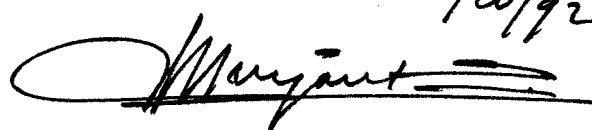
Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

S u r a b a y a

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

20/10/92


(DR. Ir. AGUS MULYANTO)

**S U R A B A Y A
OKTOBER, 1992**

ABSTRAK

Pada saat ini kebutuhan akan sarana telekomunikasi semakin meningkat, terutama pada komunikasi telepon. Dan seiring dengan kemajuan teknologi telekomunikasi kemudian dikembangkan sistem STKB CELLULAR. Di dunia ini ada empat standard sistem STKB yang diakui secara internasional dan banyak dipakai yaitu sistem AMPS, sistem TACS, sistem NMT450, dan sistem NMT900. Karena sistem STKB CELLULAR dalam menyampaikan sinyal informasi menggunakan media udara, maka perlu dipelajari karakteristik propagasi gelombang radio.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas redaman propagasi pada beberapa daerah (urban, sub urban, terbuka) dan daya penerimaan dengan memperhatikan faktor keadaan daerahnya. Dan dibahas juga pengaruh fading dan shadowing terhadap kualitas sinyal Dan perbandingan tiga standard sistem STKB Cellular.

Dengan memperhitungkan karakteristik propagasi gelombang radio maka dapat dibandingkan keandalan sistem ketiga standard sistem STKB tersebut yang meliputi besarnya pengaruh fading dan shadowing, redaman propagasi gelombang radio dan daya penerimaan.

Dari hasil studi ini dapat disimpulkan bahwa fading dan shadowing menentukan besarnya level sinyal penerimaan minimum yang disyaratkan, dimana dari perhitungan diperoleh bahwa untuk sistem yang menggunakan band frekuensi 800 MHz sistem NMT900 mempunyai level penerimaan minimum yang lebih baik meskipun frekuensi yang digunakan lebih tinggi, hal ini disebabkan frekuensi deviasinya kecil. Tetapi sistem AMPS mempunyai keandalan yang lebih baik terhadap shadowing dan mempunyai level sinyal penerimaan yang lebih baik pada daerah diatas nilai ambang (thershold) dibandingkan sistem TACS dan NMT900. Redaman propagasi semakin besar dengan semakin tinggi frekwensi yang digunakan dan mempunyai harga yang berbeda pada beberapa daerah, dimana sistem AMPS mempunyai redaman propagasi dan daya penerimaan yang lebih baik dibandingkan sistem TACS dan NMT900. Sedangkan sistem NMT450 mempunyai harga-harga yang lebih baik lagi karena menggunakan band frekuensi yang rendah yaitu 450 MHz. Dari hasil pembahasan ini dapat digunakan sebagai studi awal perencanaan jaringan cellular dalam menentukan daerah cakupan (coverage area).

K A T A P E N G A N T A R

Sebagai salah satu syarat kelengkapan untuk meraih gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, maka kami susun karya tulis skripsi tugas akhir dengan judul :

"STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROPAGASI GELOMBANG RADIO PADA BEBERAPA SISTEM STKB CELLULAR"

Dengan penuh ketulusan hati, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak DR. Ir. AGUS MULYANTO, selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Ir KRISTIONO, Kepala Urusan Sentral SPC PT Telkom Bandung
3. Bapak Ir. M. ARIES PURNOMO, Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi.
4. Bapak Ir. KATJUK ASTROWULAN, MSEE, Ketua Jurusan Teknik Elektro.
5. Rekan-rekan mahasiswa dan segenap civitas akademika dilingkungan Jurusan Teknik Elektro ITS.
6. Ayah, Ibu dan Adik-adikku beserta seluruh keluarga besar.
7. Semua pihak yang telah membantu terselesainya tugas akhir ini.

yang telah meluangkan waktu dan perhatiannya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Surabaya, Oktober 1992

PENYUSUN

DAFTAR ISI

	halaman
JUDUL.....	i
PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan dan Pembatasan Masalah.....	3
1.3 Metodologi.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Sistematika Studi.....	5
BAB II : TEORI PENUNJANG.....	6
2.1. Formula Transmisi Ruang Bebas.....	6
2.2. Propagasi di Atas Bumi Datar.....	9
2.3. Fading dan shadowing.....	13
2.3.1. Fading Lintasan Ganda (Multiphath Fading).....	15
2.3.2. Fungsi Distribusi Fading dan Shadowing.....	20
2.3.2.1. Rayleigh Fading.....	22
2.3.2.2. Lognormal Shadowing....	25

BAB III : SISTEM KOMUNIKASI STKB CELLULAR.....	30
3.1. U M U M.....	30
3.2. Konsep Dasar Sistem Cellular.....	31
3.3. Elemen Dasar dari Konsep Cellular.....	32
3.3.1. Penggunaan Ulang Frekwensi (Frequency Reuse).....	32
3.3.2. Pemecahan Sel (Cell Splitting).....	34
3.4. Bentuk Geometri Sel.....	36
3.4.1. Dasar-dasar Geometri Hexagonal.....	38
3.5. Efek Fading dan Shadowing Pada Penggunaan Ulang Kanal.....	44
3.5.1. Probabilitas Interferensi Kanal Sama dengan Fading dan Shadowing.....	45
3.5.2. Perhitungan Jarak Penggunaan Ulang (Reuse Distance R_u).....	49
3.5.2.1. Jarak Penggunaan Ulang Tanpa Fading dan Shadowing.....	51
3.5.2.2. Jarak Penggunaan Ulang Dengan Fading dan Shadowing.....	52
BAB IV : REDAMAN PROPAGASI GELOMBANG RADIO.....	58
4.1. U M U M.....	58
4.2. Klasifikasi dan Definisi Daerah Perambatan.....	59

4.2.1. Daerah Terbuka (Open Area).....	60
4.2.2. Daerah Sub Urban (Sub Urban Area).....	61
4.2.3. Daerah Urban (Urban Area).....	61
4.3. Rumus Empiris Redaman Propagasi (Perambatan).....	62
4.3.1. Faktor Koreksi Tinggi Antena Stasiun Mobil $a(h_m)$	69
4.3.1.1. Faktor Koreksi $a(h_m)$ Pada Daerah Non Metropolitan.....	69
4.3.1.2. Faktor Koreksi $a(h_m)$ Pada Daerah Metropolitan.....	73
4.3.2. Faktor Koreksi Daerah Sub Urban dan Daerah Terbuka.....	75
4.3.3. Faktor Koreksi Pada Dataran Berbukit Berbukit, Miring dan Dalam Lingkungan Darat - Laut.....	77
4.4. Rumus Empiris Daya Penerimaan.....	82
BAB V : PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROPAGASI GELOMBANG RADIO PADA BEBERAPA SISTEM STKB CELLULAR...	83
5.1. U M U M.....	83
5.2. Spesifikasi Sistem STKB CELLULAR di dunia.....	84
5.3. Analisa Sistem AMPS.....	87

5.3.1. Perhitungan Level Sinyal	
Minimum.....	88
5.3.2. Perhitungan Redaman Propagasi..	93
5.3.3. Perhitungan Daya Penerimaan....	94
5.4. Analisa Sistem TACS.....	96
5.4.1. Perhitungan Level Sinyal	
Minimum.....	97
5.4.2. Perhitungan Redaman Propagasi..	101
5.4.3. Perhitungan Daya Penerimaan....	102
5.5. Analisa Sistem NMT.....	104
5.5.1. Perhitungan Level Sinyal	
Minimum.....	105
5.5.1.1. Standard NMT450.....	105
5.5.1.2. Standard NMT900.....	109
5.5.2. Perhitungan Redaman Propagasi..	111
5.5.2.1. Standard NMT450.....	113
5.5.2.2. Standard NMT900.....	113
5.5.3. Perhitungan Daya Penerimaan....	109
5.5.3.1. Standard NMT450.....	114
5.5.3.2. Standard NMT900.....	115
5.6. P E R B A N D I N G A N.....	116
5.6.1. Level Sinyal Minimum Terhadap	
Fading dan Shadowing.....	116
5.6.2. Daya Penerimaan dan Redaman	
Propagasi Gelombang Radio.....	121
BAB VI : KESIMPULAN.....	124

6.1. Kesimpulan.....	124
6.2. Saran.....	127
DAFTAR PUSTAKA.....	128
LAMPIRAN	
A. TABEL EEROR FUNCTION (erf x).....	131
B. USULAN TUGAS AKHIR.....	135
C. RIWAYAT HIDUP.....	139

DAFTAR GAMBAR

gambar	halaman
2-1 Perambatan Gelombang di Atas Bumi Datar.....	10
2-2 Harga n Terhadap Perubahan Jarak dan Tinggi Antena Base Station	13
2-3 Fenomena Ganda.....	14
2-4 Penerimaan Sinyal.....	18
2-5 Pola Sinyal Penerimaan Karena Fading dan Shadowing.....	20
2-6 Kurva Distribusi Reyleigh.....	23
2-7 Prediksi Nilai Standard Deviasi.....	26
3-1 Struktur Dasar Sistem STKB Cellular.....	32
3-2 Ilustrasi Penggunaan Ulang Frekuensi.....	33
3-3 Ilustrasi Pemecahan Sel.....	35
3-4 Bentuk-bentuk Sel.....	37
3-5 Sistem Koordinat Hexagonal.....	38
3-6 Prosedur Penempatan Kelompok Kanal Sama.....	40
3-7 Jumlah Sel Per Kelompok Sel.....	41
3-8 Lokasi Base Station.....	43
3-9 Kurva Probabilitas Interferensi Kanal Sama.....	48
3-10 Definisi Penggunaan Ulang.....	50
3-11 Tingkat Interferensi Kanal Sama.....	55

3-12	Jarak Penggunaan Ulang Dengan Fading dan $\sigma = 6$ dB Shadowing.....	56
3-13	Jarak Penggunaan Ulang Dengan Fading dan $\sigma = 12$ dB Shadowing.....	56
4-1	Tinggi Undulasi (Δh).....	60
4-2	Kurva Kuat Medan Standar.....	63
4-3	Penentuan Persamaan Faktor A.....	67
4-4	Penentuan Persamaan Faktor B.....	67
4-5	Faktor Koreksi Tinggi Antena Stasiun Mobil....	70
4-6	Koreksi Pada Daerah Non-Metropolitan	71
4-7	Penentuan $\xi (f_o)$ dan $\eta(f_c)$	72
4-8	Faktor Koreksi Pada Daerah Metropolitan.....	74
4-9	Faktor Koreksi Pada Daerah Sub Urban.....	75
4-10	Faktor Koreksi Pada Daerah Terbuka.....	77
4-11	faktor Koreksi Pada Dataran Yang Berbukit.....	78
4-12	Faktor Koreksi Pada Dataran Yang Miring.....	79
4-13	Faktor Koreksi Pada Dataran Darat-laut.....	80
5-1	Prediksi Nilai Standar Deviasi.....	90

DAFTAR TABEL

tabel	halaman
2-1 Keandalan Sistem Pada Berbagai Penambahan Cadangan Fading.....	25
3-1 Jarak Penggunaan Ulang (Fading saja).....	53
3-2 Jarak Penggunaan Ulang ($\sigma = 6$ dB Shadowing)...	54
3-3 Jarak Penggunaan Ulang ($\sigma = 12$ dB Shadowing)...	54
4-1 Nilai A.....	66
4-2 Nilai B.....	66
4-3 Rumus Empiris Redaman Propagasi.....	81
5-1 Spesifikasi Sistem STKB Cellular di Dunia.....	85
5-2 Bandwidth Sistem.....	86
5-3 Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem AMPS Pada Daerah Urban.....	92
5-4 Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem AMPS Pada Daerah Sub Urban.....	92
5-5 Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem TACS Pada Daerah Urban.....	100
5-6 Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem TACS Pada Daerah Sub Urban.....	100
5-7 Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem NMT450 Pada Daerah Urban.....	108
5-8 Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem NMT450 Pada Daerah Sub Urban.....	108

5-9	Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem NMT900 Pada Daerah Urban.....	110
5-10	Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem NMT900 Pada Daerah Sub Urban.....	111
5-11	Nilai Cadangan Fading.(dB) Yang Harus ditambahkan oleh Semua Sistem Pada Daerah Urban dan Sub Urban.....	117
5-12	Nilai Cadangan Shadowing.(dB) Yang Harus Ditambahkan oleh Masing-masing Sistem Pada Daerah Urban.....	117
5-13	Nilai Cadangan Shadowing.(dB) Yang Harus Ditambahkan oleh Masing-masing Sistem Pada Daerah Sub Urban.....	118
5-14	Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem Terhadap Fading dan Shadowing Pada Daerah Urban.....	119
5-15	Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem Terhadap Fading dan Shadowing Pada Daerah Sub Urban.....	119
5-16	Parameter Base Station dan Mobil Station.....	122
5-17	Redaman Propagasi dan Daya Penerimaan Sistem Pada Daerah Urban, Sub Urban, dan Terbuka.....	115

B A B I

P E N D A H U L U A N

1.1. Latar Belakang

Saat ini kebutuhan akan sarana telekomunikasi semakin meningkat. Dan sistem komunikasi yang sekarang ini banyak dipakai adalah telepon, karena dapat menghemat waktu, tempat dan biaya. Pada perkembangan selanjutnya sarana telepon diharapkan selalu hadir setiap saat, kapan saja dan dimana saja walaupun sedang berkendara mobil, hal ini terutama terjadi di kota-kota besar.

Untuk memenuhi tuntutan tersebut, maka dikembangkan sistem komunikasi radio mobil yaitu suatu jenis pelayanan sistem telepon pada kendaraan yang bergerak, yang di Indonesia dikenal dengan nama Sambungan Telepon kendaraan bergerak (STKB).

Kemudian seiring dengan kemajuan teknologi telekomunikasi maka dikembangkan sistem STKB yang baru, yang dikenal dengan nama sistem STKB CELLULAR. Sistem ini mempunyai konsep dasar yaitu membagi daerah cakupan (coverage area) dalam sel - sel. Dimana Konsep ini

mempunyai dua elemen dasar yaitu pertama adalah penggunaan frekuensi secara berulang (frequency reuse), sehingga dapat menghemat pita frekuensi. Dan yang kedua pembelahan sel (cell splitting) yang berperan pada saat tingkat kebutuhan dalam suatu sel melampaui kapasitas sel itu.

Di dunia ini dikenal ada beberapa sistem STKB CELLULAR yang telah diakui secara internasional yaitu sistem NMT yang dikembangkan negara Skandinavia, sistem NMT mempunyai dua standard yaitu standard NMT450 yang digunakan mulai tahun 1981, dan standard NMT900 (pengembangan dari NMT450) yang mulai digunakan pada akhir 1986. Kemudian sistem AMPS yang dikembangkan negara Amerika Serikat mulai digunakan tahun 1983. Dan sistem TACS yang dikembangkan oleh negara Inggris yang mulai dioperasikan awal 1985.

Secara umum sistem-sistem STKB Cellular dapat dibedakan menurut frekuensi kerjanya yaitu 450 MHz atau 800 MHz. Juga dapat dibedakan dari penentuan spasi antara kanal-kanalnya (channal spacing) : 30, 25, atau 20 kHz.¹⁾

Sistem STKB Cellular ini adalah sistem tekekomunikasi yang menggunakan pesawat telepon pelanggan (pemancar dan penerima) tidak berada pada tempat yang tetap yang disebut stasiun mobil, sedangkan untuk berhubungan antar stasiun mobil digunakan base station

¹⁾ William C. Y. Lee, "Mobile Cellular Communications Systems", McGraw-Hill Book Co, New York, 1989, hal 91

(stasiun tetap). Dan untuk berhubungan dengan jaringan telepon biasa (tetap) digunakan MTSO (Mobile Telecommunication Switching Office).

Karena sistem ini menggunakan media udara sebagai penyaluran informasi yaitu antara stasiun mobil dengan stasiun tetap, maka sesuai dengan sifat udara sebagai media terbuka kualitas sinyal pada penerima berubah - ubah tergantung pada kondisi sesaat udara.

Oleh karena itu dalam merencanakan suatu sel pada sistem STKB Cellular harus memperhitungkan faktor propagasi gelombang radio dimana redaman propagasi dan kondisi lingkungan akan menentukan besarnya daya yang dibutuhkan untuk daerah cakupan (coverage area) suatu sel yang diinginkan. Demikian juga fading dan shadowing akan menentukan kualitas sinyal dan besarnya interferensi pada penerima.

1.2. Permasalahan dan Pembatasan Masalah

Bertitik tolak dari latar-belakang diatas maka pada tugas akhir ini dibahas karakteristik propagasi gelombang radio pada sistem STKB Cellular yang meliputi besarnya redaman propagasi pada beberapa daerah (urban, sub urban dan open area) dan daya penerimaan dengan memperhatikan faktor kondisi daerah tersebut. Dan dibahas juga pengaruh fading dan shadowing terhadap kualitas sinyal dan

interferensi yang terjadi.

Kemudian dibahas perbandingan pada beberapa standard sistem STKB Cellular yaitu sistem AMPS, sistem TACS, sistem NMT450, dan sistem NMT900.

Dalam tugas akhir ini dibatasi pembahasannya hanya mengenai karakteristik propagasi gelombang radio pada sistem komunikasi STKB Cellular saja. Sedangkan mengenai sistem kontrol dan perangkat keras pada sistem Cellular tidak dibahas.

1.3. Metodologi

Dalam penyusunan tugas akhir ini digunakan beberapa literatur dan buku yang membahas masalah sistem STKB CELLULAR. Untuk memperoleh data-data tersebut dilakukan dengan mencarinya di perpustakaan, juga mencari di PT Telkom, PT INTI, dan LEN.

Setelah literatur, buku dan data yang dibutuhkan telah terkumpul, kemudian dibahas dan dianalisa. Hasil dari analisa kemudian diambil suatu kesimpulan.

1.4. Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah :

- Untuk mengetahui aspek-aspek perencanaan sel pada sistem STKB CELLULAR, dalam hal ini karakteristik

propagasi gelombang radio.

- Dan membandingkannya pada beberapa standard sistem STKB tersebut untuk diketahui keunggulan dan kekurangannya.

1.5. Sistematika Studi

Untuk mendapatkan pembahasan yang sistematis dari studi ini maka pembahasannya disusun dalam bab-bab sebagai berikut :

BAB I merupakan pendahuluan yang memberikan latar belakang dan dasar pemikiran yang melandasi pengerjaan tugas akhir ini termasuk ringkasan masalah yang dibahas dan tujuan yang diinginkan. BAB II membahas teori penunjang yang berisi dasar teori daripada transmisi dalam ruang bebas, multipath fading, fungsi distribusi fading dan shadowing. Pada BAB III mengemukakan konsep cellular dan interferensi pada sistem komunikasi STKB Cellular. Masalah interferensi yang dibahas disini adalah efek fading dan shadowing pada penggunaan ulang kanal. Dan pada BAB IV membahas cara penurunan rumus empiris daya dan redaman propagasi gelombang radio oleh Hata berdasarkan percobaan Okumura. Pada BAB V membahas perbandingan standard sistem-sistem STKB Cellular dilihat dari aspek redaman propagasi, daya penerimaan, level sinyal minimum terhadap fading dan shadowing. BAB VI berisi kesimpulan dan saran sebagai hasil pembahasan tugas akhir ini.

B A B II

TEORI PENUNJANG

2.1. Formula Tansmisi Ruang Bebas

Pada transmisi gelombang radio antara dua titik dalam ruang bebas, besarnya daya penerimaan pada jarak jangkau tertentu dari titik pancar dapat diturunkan dari rumus transmisi Friis sebagai berikut :

Dengan menganggap antena pemancar sebagai satu sumber titik, rapat daya pada jarak d dari titik pancar adalah sebagai berikut : (antena isotropis dengan efisiensi 100%)

$$P_u = \frac{P_t}{4 \pi d^2} \dots\dots\dots(2-1)$$

dimana : P_t = daya pancar (watt)

P_u = rapat daya penerimaan (watt/m²)

d = jarak pemancar - penerima (m)

Rumus diatas menjelaskan bahwa daya sebesar P_t dipancarkan secara radial keseluruh volume bola dengan jari-jari sebesar d , sehingga rapat daya pada jarak

tertentu adalah daya total yang dilingkupi oleh kulit bola tersebut dibagi dengan luas seluruh kulit bola.

Kemudian ditinjau tentang penguatan (gain) antenna adalah sebagai berikut :

$$g = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff} \dots\dots\dots(2-2)$$

dimana : g = penguatan antenna

λ = panjang gelombang (m)

A_{eff} = luas tangkap antenna (m^2)

Pada sistem transmisi yang menggunakan antenna pemancar dan antenna penerima dengan penguatan masing-masing $g_t = (4\pi/\lambda^2) \cdot (A_{eff})_t$ dan $g_r = (4\pi/\lambda^2) \cdot (A_{eff})_r$ maka daya penerimaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_r = P_u (A_{eff})_r \cdot g_t \dots\dots\dots(2-3)$$

sehingga dengan menggunakan (2-2) dan memasukkan (2-1) ke dalam (2-3) diperoleh rumus untuk menghitung daya penerimaan sebagai berikut :

$$P_r = P_t g_t g_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \dots\dots\dots(2-4)$$

dimana : P_r = daya penerima (watt)

P_t = daya pancar (watt)

g_t = penguatan antenna pemancar

g_r = penguatan antenna penerima

λ = panjang gelombang (m)

d = jarak pemancar-penerima (m)

Rumus daya penerima pada persamaan (2-4) diatas, yang diperhitungkan hanyalah daya yang sampai secara langsung dari antena pemancar ke antena penerima melalui ruang bebas. Sedangkan daya hasil pantulan atau hamburan oleh permukaan bumi tidak diperhitungkan, sehingga penggunaan rumus tersebut hanya pada komunikasi antara dua titik dengan gelombang langsung yang berperan dalam aliran daya (gelombang pantul dapat diabaikan).

Redaman lintasan (path loss) dapat diturunkan melalui persamaan (2-4) dengan memasukkan penguatan antena masing-masing $g_t = g_r = 1$ (antena dianggap isotropis). Redaman lintasan didefinisikan sebagai rasio daya pancar terhadap daya penerima yaitu sebagai berikut :

$$L_p = \frac{P_t}{P} = \left[\frac{4\pi d}{\lambda} \right]^2 \dots\dots\dots(2-5)$$

Dengan menggunakan hubungan $\lambda = c/f$ (c = cepat rambat cahaya), kemudian dengan penyesuaian satuan d (km) dan f (MHz) maka rumus redaman lintasan dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut :

$$L_p \text{ (dB)} = 32,45 + 20 \log d + 20 \log f \dots\dots(2-6)$$

dimana : L_p = redaman lintasan (dB)

d = jarak (km)

f = frekuensi (MHz)

Dari rumus diatas nampak bahwa sinyal akan diredam dengan 20 dB/decade terhadap bertambahnya jarak, artinya redaman akan naik 20 dB bila jarak berlipat 10 kali. Demikian pula halnya dengan kenaikan frekuensi kerja akan menyebabkan kenaikan redaman sebesar 20 dB/decade.

Pada sistem komunikasi radio mobil, yang mana salah satu antena harus dipasang pada kendaraan dengan ketinggian yang terbatas, maka kriteria transmisi dalam ruang bebas jelas tak dipenuhi karena gelombang yang dipantulkan permukaan bumi atau lain harus diperhitungkan.

2.2. Propagasi di Atas Bumi Datar

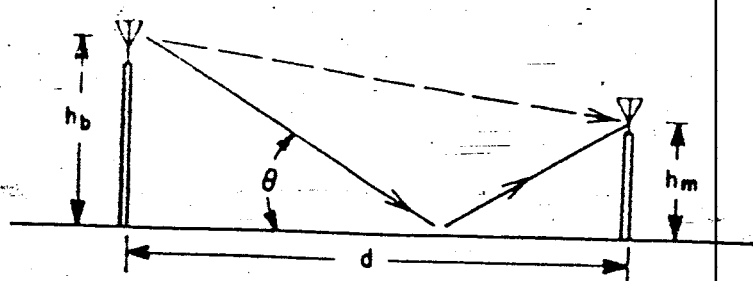
Pada peninjauan transmisi dalam ruang bebas (sub bab 2-1), daya penerima berbanding terbalik dengan kwadrat jarak pemancar-penerima seperti dinyatakan pada persamaan (2-4).

Pada sistem komunikasi mobil, daya penerima harus ditulis sebagai berikut :

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 g_t g_r | 1 + Re^{j\Delta} + (1-R)Ae^{j\Delta} + \dots |^2 \dots (2-7)$$

Pada besaran didalam tanda mutlak, suku pertama menyatakan gelombang pancar, suku kedua menyatakan gelombang pantul, suku ketiga menyatakan gelombang permukaan bumi, dan sisanya menyatakan medan induksi dan efek sekunder dari permukaan bumi. P_t menyatakan daya pancar, P_r daya penerimaan, λ panjang gelombang, d jarak pemancar-penerima, R koefisien pantul permukaan bumi (pendekatan nilai $R = -1$), A faktor atenuasi gelombang permukaan, dan Δ beda fase antara gelombang langsung dan gelombang pantul.

Untuk menentukan Δ , perhatikan ilustrasi perambatan gelombang sebagai berikut :



Gambar 2-1²⁾

Perambatan Gelombang di Atas Bumi Datar

Dengan perhitungan ilmu ukur (geometri), beda fase dapat ditulis sebagai berikut :

2) William C. Jakes, J. "Microwave Mobile Communications", John Wiley & Sons, Inc, New York, 1974, hal 82

$$\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\left(\frac{h_b + h_m}{d} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} - \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\left(\frac{h_b - h_m}{d} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2-8)$$

bila nilai d lebih besar dari $5 h_b h_m$, maka berlaku

$$\Delta = \frac{4 h_b h_m}{\lambda d} \dots\dots\dots(2-9)$$

Untuk menyederhanakan persoalan, sinyal penerima pada sistem komunikasi mobil hanya berasal dari gelombang langsung dan gelombang pantul saja (gelombang yang lain nilainya dapat diabaikan). dengan mengambil nilai $R = -1$ dan dengan memasukkan persamaan (2-9) kedalam persamaan (2-7) diperoleh :

$$P_r = 4 P_o \sin^2 \left[\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda d} \right] \dots\dots\dots(2-10)$$

kemudian dengan menganggap $\sin \frac{1}{2} \Delta \approx \frac{1}{2} \Delta$, maka rumus perambatan gelombang pada sistem komunikasi mobil dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_r = P_t g_t g_r \left(\frac{h_b h_m}{2} \right)^2 \dots\dots\dots(2-11)$$

dimana : P_t = daya pemancar (watt)

P_r = daya penerima total (watt)

P_o = daya penerima gelombang langsung (watt)

g_t = penguatan antena pemancar

g_r = penguatan antena penerima

h_o = tinggi antena pemancar (m)

h_m = tinggi antena penerima (m)

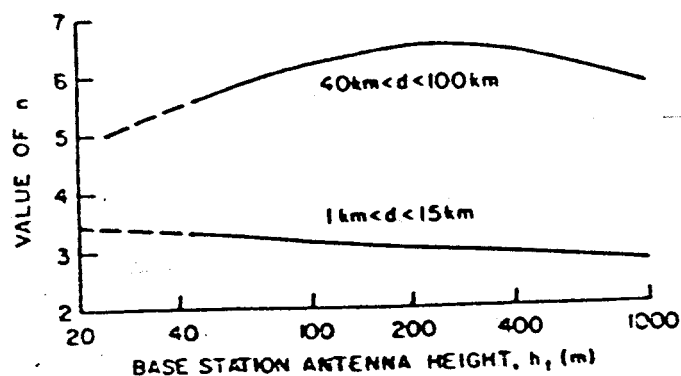
d = jarak pemancar penerima (m)

Dapat dikatakan bahwa daya penerima pada sistem komunikasi mobil berbanding terbalik dengan pangkat empat dari jarak pemancar penerima atau kuat medan (tegangan) penerima berbanding terbalik dengan kwadrat jarak.

Okumura beserta staf telah melakukan percobaan pada daerah urban di Jepang dalam menentukan hubungan antara besar daya penerimaan P_r dengan jarak pemancar-penerima untuk sistem komunikasi mobil. Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan

$$P_r = k d^{-n} \dots\dots\dots(2-12)$$

dengan k merupakan tetapan yang bergantung pada daya pemancar, penguatan antena pemancar, penguatan penerima, tinggi antena pemancar dan antena penerima. Dengan menggunakan antena mobil dengan ketinggian $h_m = 1,5$ m, maka nilai n sebagai hasil percobaan yang dilakukan di daerah urban digambarkan pada kurva berikut :

Gambar 2-2^{a)}

Harga n Terhadap Perubahan Jarak dan Tinggi Antena Base Station

Dari kurva di atas nampak daya penerimaam pada komunikasi mobil hampir sebanding dengan $1/d^4$ atau sinyal radio mobil yang merambat di daerah urban akan mengalami redaman terhadap jarak sekitar 40 dB/decade.

Pembahasan selanjutnya mengenai hasil percobaan Okumura akan dilakukan pada bab IV. Dimana akan dibahas rumus empiris propagasi dari percobaan.

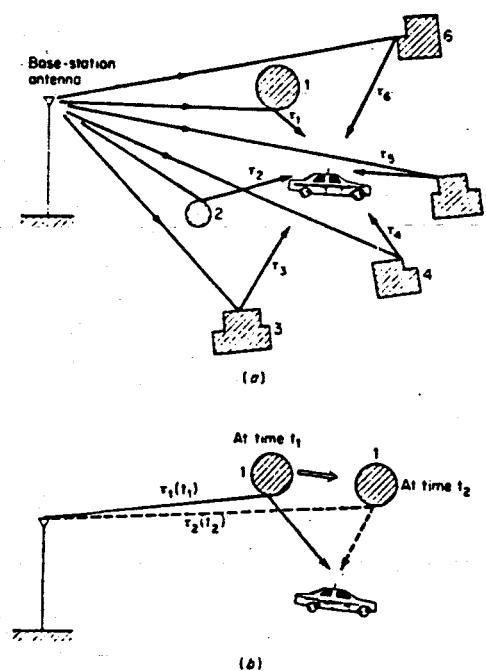
2.3. Fading dan Shadowing

Sinyal yang merambat pada stasiun mobil mengalami fading. Ada dua macam fading yaitu pertama fading cepat yang biasanya disebut fading saja, kedua fading lambat

^{a)} ibid, hal 101

yang disebut shadowing.

Fading cepat disebabkan oleh fenomena lintasan ganda (multipath) dimana sinyal dalam perjalanannya mengalami pantulan, hamburan, dan pembiasan yang disebabkan adanya halangan-halangan. Sehingga sinyal yang diterima merupakan resultan dari sinyal-sinyal yang menempuh jalan berbeda. Pola lintasan ganda dapat dilihat pada gambar 2-3.



Gambar 2-3⁴⁾

Fenomena Lintasan Ganda :

- (a) Penerimaan pada saat yang sama;
- (b) Penerimaan pada saat yang berlainan

Dengan kata lain sinyal yang diterima merupakan

⁴⁾ William C. Y. Lee, "Mobile Communications Engineering McGraw - Hill Book Co, New York, 1982, hal 27

resultan dari dari sinyal-sinyal yang mempunyai amplitudo, fasa, dan sudut datang yang bersifat random. Akibatnya sinyal yang diterima mempunyai amplitudo dan fasa yang berubah-ubah tergantung kondisi sesaat lingkungan. Perubahan sinyal ini dinamakan fading lintasan ganda (Multipath fading). Perhitungan mengenai multipath fading akan dibahas pada sub-bab (2.3.1).

Fading lambat (shadowing) disebabkan efek bayangan dari berbagai halangan (difraksi) seperti gedung-gedung bertingkat dan variasi topografi permukaan bumi, yang terjadi selama stasiun mobil bergerak sepanjang jalan. Akibatnya sinyal yang diterima berubah-ubah secara random terhadap jarak.

2.3.1. Fading Lintasan Ganda (Multipath Fading)

Seperti telah disebutkan diatas sinyal yang diterima stasiun mobil mengalami multipath fading disebabkan oleh fenomena lintasan ganda.

Bila sinyal yang dari stasiun tetap ke arah stasiun mobil dinyatakan dalam bentuk eksponensial sebagai berikut :

$$s_o(t) = a_o \exp \{ j(\omega_o t + \phi_o) \} \dots\dots\dots(2-13)$$

dimana :

$s_0(t)$ = sinyal yang dipancarkan dari stasiun tetap

a_0 = amplitudo sinyal $s_0(t)$

ϕ_0 = fasa dari $s_0(t)$

$\omega_0 = 2\pi f_0$; f_0 = frekuensi pembawa.

maka sinyal yang sampai di penerima (stasiun mobil) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i s_0(t - \tau_i)$$

$$= x(t) \exp \{j(\omega_0 t + \phi_0)\} \quad \dots\dots(2-14)$$

dimana : N = jumlah lintasan

$s(t)$ = superposisi sinyal yang sampai di penerima

a_i = faktor atenuasi lintasan ke-i

τ_i = waktu perambatan lintasan ke-i

sedangkan :

$$x(t) = a_0 \sum_{i=1}^N a_i \exp(-j\omega_0 \Delta\tau_i) \quad \dots\dots\dots(2-15)$$

Jika diperhatikan pada persamaan (2-15), $x(t)$ adalah amplitudo sinyal yang pada stasiun mobil yang mempresentasikan terjadinya fenomena lintasan ganda. Nilai $x(t)$ ditentukan oleh a_i , τ_i , dan N . Nilai faktor atenuasi a_i bergantung pada panjang lintasan, keadaan medium, dan koefisien pantul dari berbagai pemantul (penghambur).

Sedangkan waktu perambatan τ_i adalah hasil bagi setiap panjang lintasan ke-i dengan cepat rambat cahaya.

Nilai $x(t)$ sebagai amplitudo sinyal penerima $s(t)$ tidak selalu tetap, tetapi berubah-ubah sebagai fungsi dari a_i dan τ_i . Akibatnya sinyal penerima tersebut akan mengalami fading, dan fading ini sifatnya cepat yang tergantung kondisi sesaat lingkungan.

Hal lain yang perlu diperhatikan pada sistem komunikasi mobil adalah efek Doppler yang akan mempengaruhi kualitas sinyal penerimaan bila kecepatan stasiun mobil sangat tinggi (misalnya pesawat terbang). Kita tinjau pengaruh dari efek Doppler terhadap sinyal radio yang dijelaskan melalui gambar 2-4. Sinyal yang diterima oleh stasiun mobil dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$s(t) = a_0 \exp\{j(\omega_0 t + \phi_0 - \beta Vt \cos\theta)\} \dots (2-16)$$

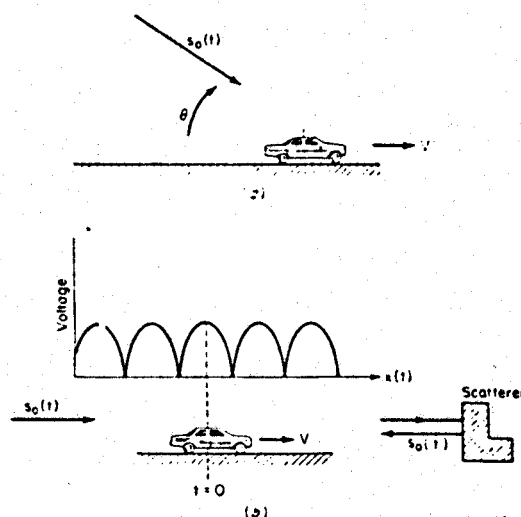
dimana :

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} ; \lambda = \text{panjang gelombang}$$

θ = sudut terkecil antara vektor sinyal datang dengan vektor kecepatan stasiun mobil.

V = kecepatan station mobil

$$s_0(t) = a_0 \exp j(\omega_c t - \phi_0) ; \text{sinyal datang}$$

Gambar 2-4⁵⁾

Penerimaan Sinyal ; (a) Efek Doppler

(b) Pola Gelombang Berdiri.

Pergeseran frekuensi Doppler dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f_d = f_m \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2-17)$$

dimana : f_d = frekuensi Doppler

$$f_m = \frac{V}{\lambda} ; \text{frekuensi Doppler maksimum}$$

Untuk mengetahui fenomena lintasan yang lebih jelas, dapat dilihat dari terjadinya fading cepat pada

⁵⁾ ibid, hal 29

sinyal penerima radio mobil dengan konsep terjadinya gelombang berdiri. Untuk menyederhanakan persoalan, dianggap sudut $\theta = 0$ (pada persamaan (2-17) dan hanya terdapat sebuah pemantul seperti nampak pada gambar 2-4 (b). Sinyal yang diterima oleh stasiun mobil dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$s(t) = a_0 \exp \left[j(\omega_0 t + \phi_0 - \beta vt) \right] - a_0 \exp \left[j(\omega_0 t + \phi_0 + \beta vt - \omega_0 \tau) \right] \dots\dots\dots(2-18)$$

atau dapat pula ditulis dalam bentuk,

$$s(t) = -j2a_0 \sin \left\{ \beta vt - \frac{\omega_0 \tau}{2} \right\} \exp \left\{ j \left[\omega_0 t + \phi_0 - \frac{\omega_0 \tau}{2} \right] \right\} \dots\dots\dots(2-19)$$

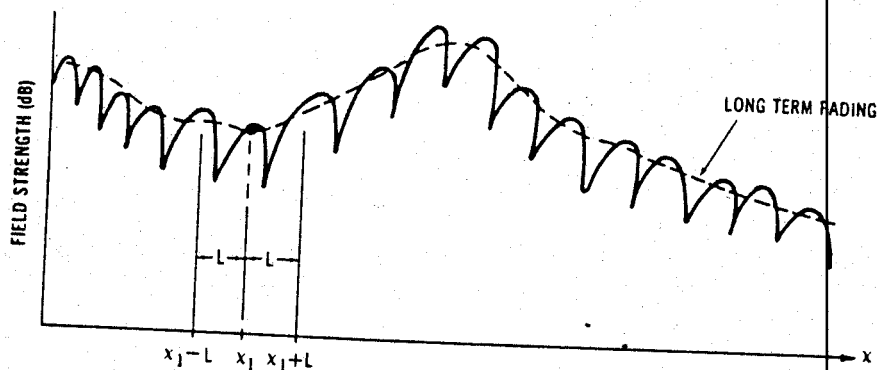
dimana : V = kecepatan stasiun mobil

τ = waktu perambatan gelombang yang melalui pemantul.

Dari persamaan (2-19), amplitudo sinyal penerima $s(t)$ akan bernilai nol ketika $\beta vt = (\omega_0 \tau / 2) + n\pi$; $n = 1, 2, 3$, dan selanjutnya. Kasus ini dapat memperlihatkan timbulnya fading cepat yang dialami oleh sinyal penerimaan radio mobil dengan frekuensi fading sebesar V/λ .

2.3.2. Fungsi Distribusi Fading dan Shadowing

Pola sinyal penerimaan radio mobil yang mengalami fading (fading cepat) dan shadowing (fading lambat) diperlihatkan pada gambar 2-5. Fading digambarkan dengan garis penuh yang tebal, sedangkan shadowing digambarkan dengan garis putus-putus. Dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata sinyal akibat fading cepat masih berfluktuasi akibat shadowing.



Gambar 2-5⁶⁾

Pola Sinyal Penerimaan karena Fading dan Shadowing

Peninjauan secara matematis untuk analisa sinyal radio yang mengalami fading dan shadowing dilakukan berdasarkan distribusi dari fading dan shadowing yang

⁶⁾ William C.Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamental", Howard W. Sams & Co, Indianapolis, 1986, hal 10

sudah diketahui berdasarkan percobaan, sehingga dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Rayleigh fading (fading cepat terdistribusi Rayleigh).
2. Lognormal shadowing (shadowing terdistribusi lognormal).

Pengelompokan ini didasarkan pada bentuk kurva distribusinya. Dari hasil pengukuran level sinyal pada jarak sekitar 50 meter yang dibagi dalam interval-interval yang dibagi dalam interval-interval yang pendek, kemudian disusun fungsi distribusinya ternyata distribusi yang diperoleh menyerupai kurva distribusi Rayleigh. Bila notasi sinyal penerimaan adalah s , maka sinyal penerimaan rata-rata dari fading cepat yang terdistribusi Rayleigh dinamakan \bar{s} .

Nilai rata-rata \bar{s} akan berfluktuasi akibat shadowing sekitar 6 sampai 12 dB. Berdasarkan percobaan pengukuran level sinyal untuk jarak beberapa kilometer yang kemudian dibuat lagi distribusinya, ternyata mean lokal \bar{s} tersebut memiliki kurva distribusi yang menyerupai kurva distribusi lognormal.

Pada distribusi lognormal dari sinyal \bar{s} , bila sinyal tersebut dinyatakan dalam satuan dB dengan konversi,

$$\bar{s}_d(\text{dB}) = 20 \log \bar{s} \dots\dots\dots(2-20)$$

maka diperoleh kurva distribusi normal. Selanjutnya analisa terhadap sinyal \bar{s}_d dilakukan dengan menggunakan sifat - sifat distribusi normal. Nilai rata - rata dari mean lokal \bar{s}_d yang terdistribusi normal dinamakan median $m_d = \langle \bar{s}_d \rangle$.

2.3.2.1. Rayleigh Fading

Seperti telah diketahui bahwa fading cepat (fading) terdistribusi Rayleigh, fungsi kerapatan probabilitas sinyal s dapat dinyatakan sebagai

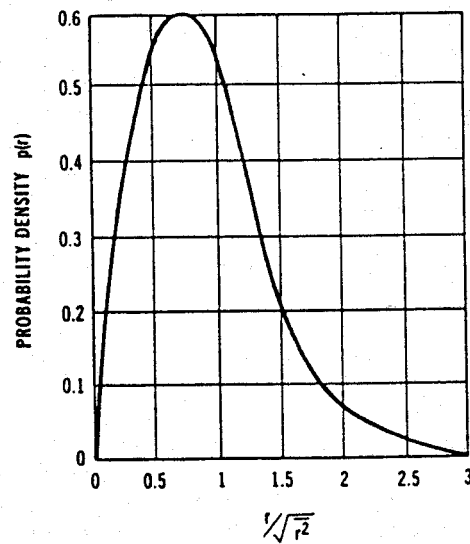
$$p(s) = \frac{\pi s}{2\bar{s}^2} \exp \left[- \frac{\pi s^2}{2\bar{s}^2} \right] \dots\dots\dots(2-21)$$

dimana : $p(s)$ = probabilitas sinyal penerimaan

s = fading sinyal penerimaan

\bar{s} = mean lokal s

Bentuk kurva distribusi Reyleigh dapat dilihat pada gambar 2-6

Gambar 2-6⁷⁾

Kurva Distribusi Reyleigh

Probabilitas nilai s berada diatas suatu level tertentu x_0 adalah

$$P(s \geq x_0) = \int \frac{\pi s}{2\bar{s}^2} e^{-\pi s^2/4\bar{s}^2} ds \dots\dots\dots(2-22)$$

integrasi tersebut mudah diselesaikan dengan proses substitusi $u = \pi s^2/4\bar{s}^2$, yang menghasilkan $du/ds = \pi s/2\bar{s}^2$ dan batas integrasi dari $u = \pi x_0^2/4\bar{s}^2$ sampai $u = \infty$.
Sehingga diperoleh :

⁷⁾ ibid, hal 29

$$P(s \geq x_0) = e^{-\pi x_0^2 / 4\bar{s}^2} \dots\dots\dots(2-23)$$

Persamaan (2-23) dapat digunakan untuk menentukan nilai rata-rata \bar{s} yang harus ditentukan untuk memenuhi keandalan sistem yang diharapkan. Sinyal treshhold x_0 merupakan level sinyal terkecil yang disyaratkan.

$P(s \geq x_0)$ pada persamaan (2-23) merupakan tolok ukur keandalan sistem. Sebagai contoh, bila keandalan sistem yang diharapkan adalah 90% , rasio x_0 terhadap \bar{s} ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 0,9 &= e^{-\pi x_0^2 / 4\bar{s}^2} \\ x_0 / \bar{s} &= \sqrt{\frac{-4 \ln 0,9}{\pi}} = 0,3663 \\ x_0(\text{dB}) - \bar{s}(\text{dB}) &= 20 \log 0,3663 \\ &= -8,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Jadi, untuk mendapatkan keandalan 90% pada sinyal penerimaan yang mengalami fading, harus ditambahkan cadangan fading sebesar 8,7 dB. Artinya kemungkinan sinyal turun sebesar 8,7 dB di bawah nilai rata-rata (akibat fading) diatasi dengan cadangan yang ditambahkan tersebut.

Untuk memperoleh keandalan yang lebih baik kita bisa menghitung besarnya cadangan yang diperlukan seperti yang telah dilakukan diatas. Tabel 2-1 memperlihatkan

hubungan antara besar cadangan fading yang ditambahkan dengan tingkat keandalan yang dapat diperoleh.

Tabel 2-1.
Keandalan Sistem Pada Berbagai Penambahan
Cadangan Fading

Cadangan Fading (dB)	Keandalan Sistem (%)
8,7	90,00
18,9	98,00
28,9	99,90
39,0	99,99

2.3.2.2. Lognormal Shadowing

Mean lokal \bar{s}_d pada peninjauan fading cepat akan berfluktuasi akibat efek shadowing. Dimana \bar{s}_d dalam satuan dB terdistribusi normal, yang diperoleh dari konversi sinyal \bar{s} yang terdistribusi lognormal (persamaan 2-20), sehingga fungsi kerapatan probabilitas dari sinyal \bar{s}_d dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p(\bar{s}_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[-\frac{(\bar{s}_d - m_d)^2}{2 \sigma^2} \right] \dots\dots(2-24)$$

dimana :

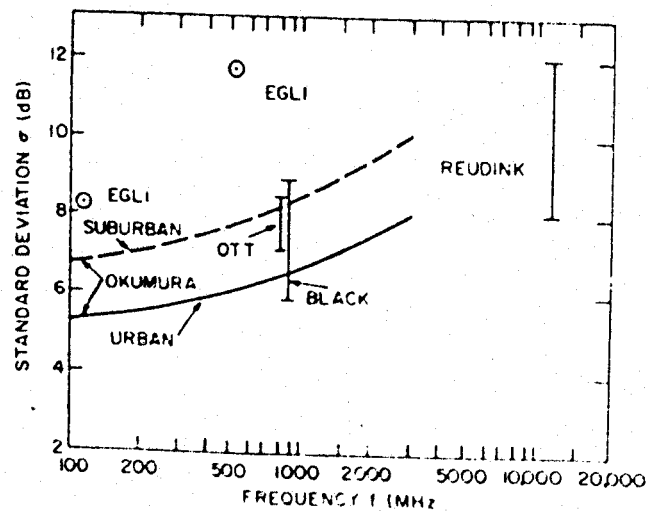
$p(\bar{s}_d)$ = probabilitas sinyal penerimaan

m_d = median (nilai rata-rata \bar{s}_d) dalam satuan dB

\bar{s}_d = mean lokal (dB)

σ = standard deviasi \bar{s}_d (dB)

Nilai standard deviasi σ (dB) diperoleh dari percobaan dan diperlihatkan pada gambar 2-7 untuk berbagai frekuensi kerja yang dipergunakan, baik di daerah urban maupun di daerah sub urban.



Gambar 2-7⁸⁾

Prediksi Nilai Standard Deviasi

Standard deviasi σ (dB) pada gambar diatas

⁸⁾ Douglas O. Reudink, "Properties of Radio Propagation Above 400 MHz", IEEE Trans Vehicular Tech, vol VT-23, Nov 1974, hal 155

merupakan variasi kuat medan \bar{s}_d di sekitar median m_d . Kurva yang digambarkan dengan garis penuh dan garis putus-putus adalah kurva prediksi standard deviasi menurut Okumura yang masing-masing untuk daerah urban dan daerah sub urban. Nilai standard deviasi pada frekuensi sekitar 850 MHz dikemukakan oleh Black dan Ott, sedangkan nilai standard deviasi pada frekuensi 11,2 GHz adalah menurut pendapat Reudink, sedangkan Egli memberikan harga standard deviasi pada frekuensi sekitar 127 MHz dan 510 MHz.

Untuk menentukan probabilitas sinyal \bar{s}_d berada di atas suatu level x_0 dilakukan dengan mengintegrasikan $p(\bar{s}_d)$ dari x_0 sampai tak berhingga.

Pada distribusi normal standard (mean $m = 0$) berlaku :

$$F(x_0) = 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{x_0}{\sqrt{2} \sigma} \right] ; \text{ untuk } x_0 \geq 0 \quad (2-25)$$

$$F(x_0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{x_0}{\sqrt{2} \sigma} \right] ; \text{ untuk } x_0 \leq 0 \quad \dots (2-26)$$

dimana :

$F(x_0)$ = fungsi distribusi kumulatif

erfc = complementary error function

Karena fungsi distribusi kumulatif $F(x_0)$ merupakan probabilitas nilai besaran berada di bawah x_0 yang sekaligus merupakan luas kurva pdf dari $-\infty$ sampai x_0 , maka mengingat luas total kurva pdf harus sama dengan 1 dan luas kurva tidak berubah bila mean m bergeser dari

titik $m = 0$ ke kanan atau ke kiri (bukan kurva normal standard), probabilitas sinyal \bar{s}_d berada diatas x_0 dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P(\bar{s}_d \geq x_0) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x_0 - m_d}{\sqrt{2} \sigma}\right) ; \text{ untuk } x_0 \geq m_d \quad (2-27)$$

$$P(\bar{s}_d \geq x_0) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\left|\frac{x_0 - m_d}{\sqrt{2} \sigma}\right|\right) ; \text{ untuk } x_0 \leq m_d \quad (2-28)$$

dimana $\operatorname{erfc}(x)$ merupakan *error function* yang dapat dihitung dari persamaan :

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du \quad \dots\dots\dots(2-29)$$

integrasi ini dievaluasi secara numerik dan hasilnya disusun dalam tabel (lampiran)

Probabilitas \bar{s}_d berada diatas x_0 merupakan tingkat keandalan sistem terhadap shadowing. Sebagai contoh, bila diharapkan keandalan terhadap shadowing sebesar 90% (90% dari seluruh daerah pelayanan mendapatkan level sinyal di atas x_0) maka besarnya cadangan yang perlu ditambahkan dapat ditentukan sebagai berikut :

Dengan menganggap daerah operasi di daerah sub urban pada frekuensi kerja 900 MHz, standar deviasi $\sigma = 8$ dB (diperoleh dari prediksi pada gambar (2-7)). Kemudian memakai persamaan (2-28) diperoleh :

$$0,9 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\left| \frac{x_o - m_d}{8 \sqrt{2}} \right| \right)$$

$$\operatorname{erfc} \left(\left| \frac{x_o - m_d}{8 \sqrt{2}} \right| \right) = 0,8$$

Dengan menggunakan tabel error function diperoleh nilai terdekat, yakni :

$$\operatorname{erfc} (0,906) = 0,79990$$

$$|x_o - m_d| = 10,25 \text{ dB}$$

Jadi untuk mencapai tingkat keandalan 90% terhadap shadowing dengan standard deviasi $\sigma = 8 \text{ dB}$ diperlukan cadangan sebesar 10,25 dB.

Besarnya cadangan fading dan shadowing yang ditambahkan menentukan nilai level sinyal minimum suatu sistem. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada bab V.

B A B III

SISTEM KOMUNIKASI STKB CELLULAR

3.1. U M U M

Spektrum frekuensi radio yang tersedia untuk sistem STKB Cellular terbatas, karena frekuensi juga digunakan untuk berbagai jenis pelayanan lain (televisi, pemancar radio, dll). Misalkan jumlah kanal radio yang tercakup dalam spektrum tersebut adalah C kanal. Jika daerah pelayanan hanya dilayani oleh satu stasiun, maka satu kanal ekuivalen dengan satu percakapan, sehingga jumlah percakapan serentak yang sanggup dilayani juga akan sebesar C percakapan saja.

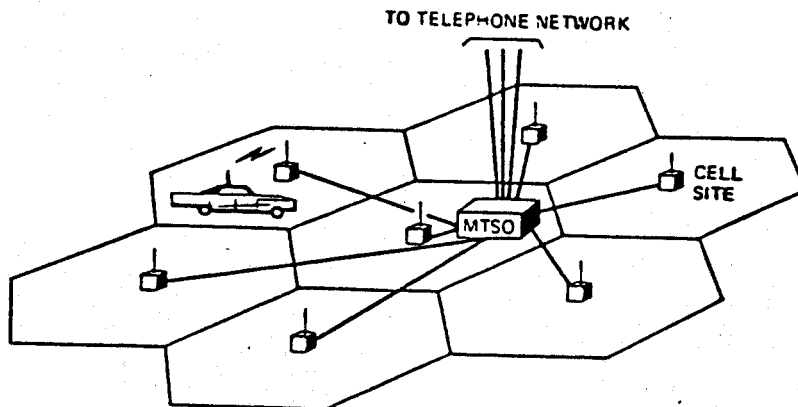
Untuk meningkatkan kapasitas pelayanan, maka daerah pelayanan dibagi menjadi beberapa bagian lebih kecil yang disebut sel, dan masing-masing sel dilayani oleh satu stasiun tetap. Stasiun-stasiun yang letaknya berjauhan dapat menggunakan frekuensi pembawa yang sama, sehingga satu kanal dapat digunakan untuk beberapa percakapan sekaligus. Penggunaan frekuensi secara berulang-ulang ini

merupakan salah satu elemen dasar Konsep Sel, dan disebut *penggunaan ulang frekuensi* (Frequency reuse). Elemen dasar lainnya adalah *pembelahan sel* (Cell splitting), yang berperan pada saat tingkat kebutuhan dalam satu sel melampaui kapasitas sel itu.

Pada bab ini dibahas konsep dasar sistem cellular. Dan dibahas juga interferensi pada sistem komunikasi STKB Cellular. Masalah interferensi yang dibahas disini adalah besarnya efek fading dan shadowing pada penggunaan ulang kanal, dan jarak penggunaan ulang kanal. Semua ini merupakan faktor penting dalam perencanaan sistem cellular.

3.2. Konsep Dasar Sistem Cellular

Struktur dasar sistem STKB Cellular ditunjukkan pada gambar 3-1. Daerah pelayanan dibagi menjadi sejumlah daerah-daerah yang lebih kecil yang disebut sel. Dalam setiap sel terdapat pusat sel (cell site), dimana pada pusat sel ini terdapat sebuah stasiun tetap (RBS) sebagai sarana penghubung ke stasiun mobil (MS) yang berada di dalam sel tersebut. Cell site - cell site tersebut dihubungkan satu sama lain dan dikontrol oleh sebuah pusat penyambungan telepon mobil (MTSO). MTSO ini juga merupakan penghubung ke jaringan telepon tetap.



Gambar 3-1^{o)}

Struktur Dasar Sistem STKB Cellular

3.3. Elemen Dasar dari Konsep Cellular

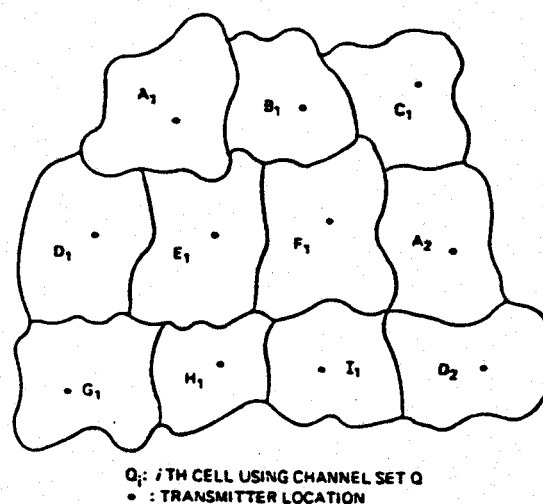
3.3.1. Penggunaan Ulang Frekwensi (Frequency Reuse)

Penggunaan ulang frekuensi berarti penggunaan kanal radio pada frekuensi pembawa yang sama untuk mencakup daerah-daerah berlainan yang saling terpisah oleh jarak yang cukup jauh, sehingga interferensi tidak lagi mengganggu.

Ide dasar dari pengulangan penggunaan frekuensi ini adalah aspek distribusi. Bila biasanya digunakan sebuah pemancar dengan daya besar dan menara antena yang tinggi

^{o)} W.R. Young, "Introduction, Background, and Objectives", "The Bell System Technical Journal", vol 58, No 1, USA, Jan 1979, hal 11

untuk mencakup seluruh wilayah pelayanan, maka pemancar ini dapat didistribusikan menjadi beberapa bagian, yang tiap bagiannya mempunyai sebuah pemancar dengan daya kecil dan menara antena yang tidak begitu tinggi. Tiap bagian ini disebut *sel*. Dengan demikian sebuah sel membatasi jangkauan pemancar. Pada prinsipnya jarak antar pemancar tidak perlu sama dan bentuk tiap sel tidak perlu teratur (gambar 3-2). Hanya untuk memudahkan pembahasan maka jarak tiap pemancar dan bentuk sel diusahakan memenuhi aturan tertentu.



Gambar 3-2¹⁰⁾

Ilustrasi Penggunaan Ulang Frekuensi

Sel-sel yang terpisah dengan jarak cukup jauh seperti A1 dan A2 boleh menggunakan pasangan frekuensi

¹⁰⁾ V.H. Mac Donald, "The Cellular Concept", The Bell System Technical Journal, Vol 58, No. 1, January 1979, hal 17

yang sama. Karena daya pemancar kecil dan jarak antara dua sel tersebut relatif cukup jauh maka masalah interferensi dapat diabaikan.

Melalui penggunaan ulang frekuensi sistem STKB Cellular dalam suatu daerah pelayanan dapat melayani secara serentak sejumlah panggilan telepon yang jauh lebih banyak daripada jumlah total kanal yang tersedia. Kapasitas pelayanan STKB Cellular bergantung pada jumlah total sel; makin banyak sel, makin meningkat pula kapasitasnya. Jumlah sel dapat diatur melalui pembelahan sel sebagaimana dibahas pada sub-bab berikut ini.

3.3.2. Pemecahan Sel (Cell splitting)

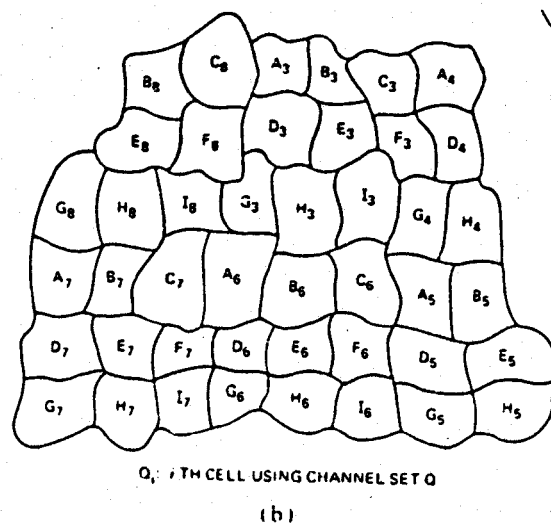
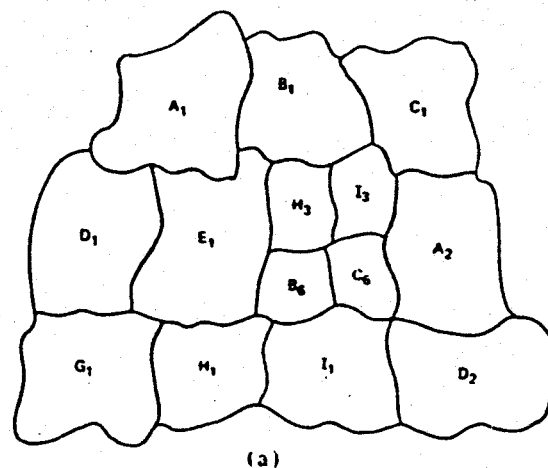
Jika total C kanal dibagi menjadi N himpunan, maka setiap himpunan akan terdiri atas $S = C/N$ kanal. Jika didalam setiap sel digunakan satu himpunan kanal, pada akhirnya kebutuhan lalulintas telepon dalam sel-sel tertentu akan mencapai kapasitas sel tersebut

Perkembangan kebutuhan lebih lanjut dalam sel itu tidak sanggup dilayani lagi, maka diperlukan perubahan-perubahan dalam sel agar dapat memenuhi kenaikan permintaan tersebut. Hal ini dilakukan dengan memecah sel tersebut menjadi beberapa sel lain yang lebih kecil.

Jika sel tersebut dibagi menjadi 4 sel yang lebih kecil, maka kapasitasnya akan menjadi empat kali. Proses tersebut

dinamakan proses pemecahan sel.

Gambar (3-3a) memperlihatkan tahap awal dari proses pemecahan sel tersebut. Pada daerah yang semula bernama F1 (lihat gambar 3.2) kini terdiri atas sel-sel H_3 , I_3 , B_6 dan C_6 .



Q₁ 1TH CELL USING CHANNEL SET Q

Gambar 3-3¹¹⁾

Ilustrasi Pemecahan Sel.

(a) Tahap Awal. (b) Tahap Akhir

¹¹⁾ ibid, hal 18

Jika permintaan langganan pada daerah tersebut terus meningkat, sel-sel besar yang lainnya dapat dipecah yang akhirnya seperti yang ditunjukkan pada gambar (3-3b). Pada kenyataan, pemecahan sel jauh lebih rumit dibandingkan contoh ilustrasi tersebut.

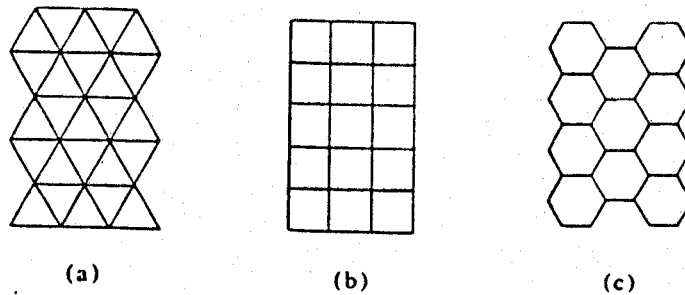
Pemecahan sel akan meningkatkan kapasitas pelayanan dalam suatu daerah, sebab setiap himpunan kanal dapat lebih sering digunakan kembali sesuai prinsip penggunaan ulang frekuensi. Dengan mengurangi luas sel, pembelahan sel memungkinkan STKB selalu menyesuaikan diri terhadap peningkatan kebutuhan lalu-lintas telepon tanpa perlu menambah spektrum frekuensi yang digunakan.

Teknik penggunaan ulang frekuensi dan pembelahan sel menyebabkan STKB sanggup melayani sejumlah besar langganan dalam suatu daerah pelayanan dengan menggunakan spektrum frekuensi yang relatif sempit. Luas tiap sel dapat berbeda, untuk daerah dengan kebutuhan yang tinggi dilayani oleh sel-sel yang kecil, sedangkan daerah dengan kebutuhan lebih rendah dilayani oleh sel-sel yang lebih besar.

3.4. Bentuk Geometri Sel.

Secara praktis struktur geometri tiap-tiap sel dibuat mempunyai bentuk yang sama. Hal ini akan membantu didalam perencanaan dan tata letak base station secara

sistematis. Untuk mendapatkan susunan konfigurasi sel yang rapat dan teratur, sistem cellular dapat direncanakan dengan bentuk bujur sangkar, segitiga sama sisi dan hexagonal seperti terlihat pada gambar 3-4



Gambar 3-4¹²⁾

Bentuk-bentuk Sel :

- (a) Segitiga Samasisi
- (b) Bujursangkar
- (c) Hexagonal

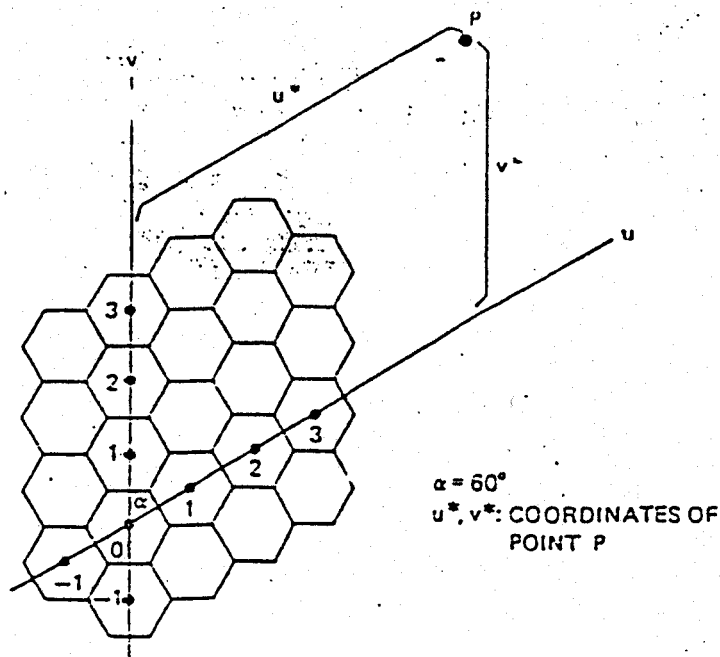
Karena pertimbangan ekonomis maka dipilih bebtuk hexagonal. Hal ini dapat dijelaskan yaitu, bila diasumsikan letak base station ditengah setiap sel, dengan melihat titik terjauh dari base station terdapat dimana merupakan titik penerimaan sinyal minimum. Apabila dari ketiga bentuk diatas mempunyai jarak yang sama antara base station dengan titik terjauhnya, maka bentuk hexagonal akan mempunyai luasan daerah transmisi sinyal radio yang paling besar. Dengan demikian untuk seluruh daerah pelayanan, apabila digunakan bentuk hexagonal maka akan

¹²⁾ ibid, hal 20

diperlukan sejumlah sel yang lebih sedikit atau sejumlah base station yang lebih sedikit dibandingkan dengan kedua bentuk lainnya, yang berarti lebih ekonomis.

3.4.1. Dasar-dasar Geometri Hexagonal

Untuk memudahkan penentuan letak pusat sel dan penyusunan letak kelompok kanal pada daerah pelayanan maka diperlukan sistem koordinat hexagonal seperti terlihat pada gambar 3-5.



Gambar 3-5¹⁹⁾
 Sistem Koordinat Hexagonal

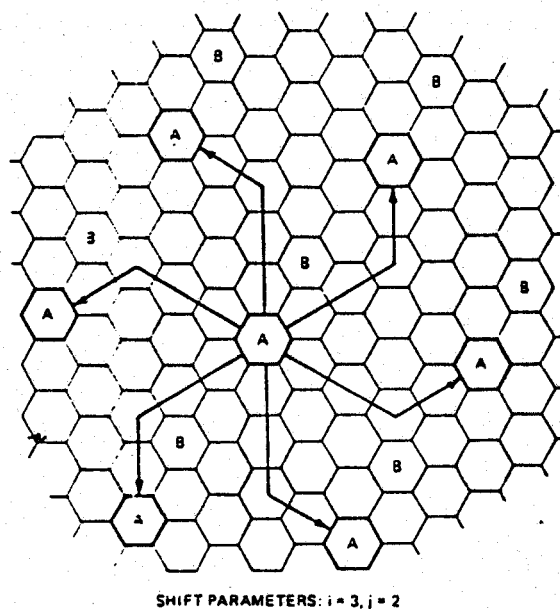
¹⁹⁾ ibid hal 30

Dua sumbu positif u dan v dalam sistem koordinat tersebut membentuk sudut 60° . Jarak tiap satuan pada masing-masing sumbu adalah $\sqrt{3}$ dari radius sel, dimana radius sel diukur dari titik pusat sel ke titik terjauh dari pusat sel tersebut. Berdasarkan sistem koordinat ini, maka jarak antara dua titik yang masing-masing mempunyai koordinat (u_1, v_1) dan (u_2, v_2) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$d = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1) + (v_2 - v_1)^2} \dots (3-1)$$

Untuk menyusun seluruh kelompok kanal di dalam seluruh daerah pelayanan maka dibuat pengelompokan sel berdasarkan pengelompokan kelompok kanal yang berbeda. Pertama ditentukan suatu sel referensi bagi penempatan kelompok kanal yang lain. Dengan ditentukannya sel referensi, diperoleh sel-sel terdekat yang menggunakan kelompok yang sama sebagai berikut :

Tarik garis sepanjang 1 sel pada setiap deretan sel yang berada disetiap sisi hexagonal sel referensi, kemudian putar 60° berlawanan atau searah jarum jam, kemudian tarik garis sepanjang j sel pada arah tersebut maka diperoleh sel ke j adalah sel-sel yang menggunakan kelompok kanal yang sama dengan sel referensi. Harga i dan j selalu intejer dan dinamakan sebagai shift parameter.

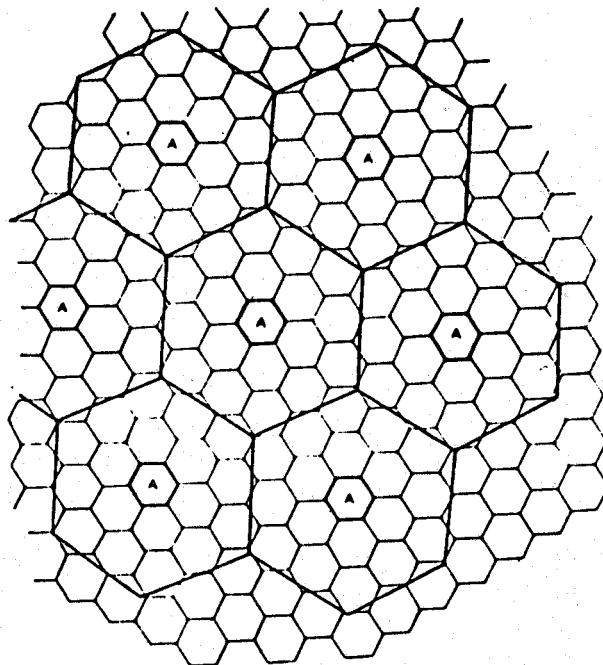


Gambar 3-6¹⁴⁾
Prosedur Penempatan Kelompok Kanal Sama

Sebagai contoh penerapan prosedur seperti diatas, ditunjukkan seperti pada gambar (3-6), dimana dalam contoh ini harga $i=3$ dan $j=2$. Sebuah sel yang terletak kira-kira ditengah gambar adalah sel referensi yang dilabelkan A, disekelingnya adalah sel-sel terdekat yang menggunakan kelompok kanal yang sama, yang juga dilabelkan A. Untuk melanjutkan tata letak kelompok kanal yang lain, dapat dilakukan prosedur seperti penempatan kelompok kanal A, sehingga dengan sejumlah kelompok kanal lainnya yang masing-masing mempunyai label yang berlainan, maka semua sel akan mendapatkan label. Terlihat adanya pengelompokan

¹⁴⁾ ibid hal 21

disekitar sel referensi dan di sekitar sel-sel lainnya yang label yang sama dengan sel referensi seperti terlihat pada gambar (3-7). Pada tiap kelompok masing-masing label digunakan sekali.



Gambar 3-7¹⁵⁾
Jumlah Sel Per Kelompok Sel

Jika pusat sel referensi terletak di $(0,0)$ dan sel yang mempunyai kelompok kanal yang sama dengan sel referensi mempunyai posisi (i,j) . maka jarak antara pusat sel terdekat yang menggunakan kelompok kanal yang sama

¹⁵⁾ ibid hal 40

(D), dapat ditentukan berdasarkan persamaan (3-1).

$$D = \sqrt{i^2 + ij + j^2} \dots\dots\dots (3-2)$$

dimana : D = jarak sel pada kelompok kanal sama

Pada gambar 3-7 pengelompokan yang membentuk konfigurasi hexagonal yang lebih besar dengan pusat sama dengan pusat sel A terlihat bahwa luasan tiap sel yang lebih besar sama dengan jumlah luas sel tiap kelompok. Jika luas tiap sel kecil adalah satu satuan luas, maka luas sel besar dapat dinyatakan sebagai $i^2 + ij + j^2$, atau sama dengan jumlah sel kecil per kelompok (N), yaitu:

$$N = i^2 + ij + j^2 \dots\dots\dots (3-3)$$

dimana : N = jumlah sel per kelompok

Disamping parameter N, perbandingan antara D, jarak antara sel-sel terdekat yang menggunakan kelompok kanal yang sama, dengan R, radius sel, yang juga disebut "co-channel reuse ratio", mempunyai hubungan persamaan dengan N sebagai berikut :

$$D/R = \sqrt{3(i^2 + ij + j^2)} \dots\dots\dots (3-4)$$

$$D/R = \sqrt{3N} \dots\dots\dots (3-5)$$

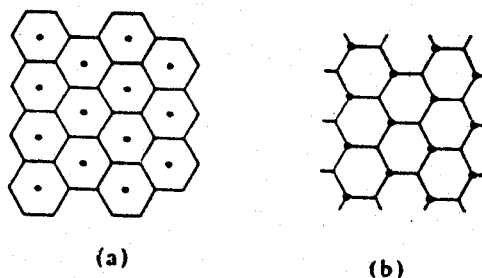
dimana : D/R = co channal reuse ratio

Dari persamaan (3-3) dan (3-5) terlihat, apabila telah ditetapkan harga R dan D maka jumlah kelompok kanal

yang diperlukan dapat diketahui. Penentuan harga D dan R berdasarkan pertimbangan-pertimbangan masalah redaman propagasi, fading, interferensi karena penggunaan kanal yang sama, kepadatan trafik, dan jumlah total kanal yang tersedia. Juga ditentukan dari pengukuran dilapangan.

Selain itu nilai D/R juga menentukan mengenai hal biaya, kualitas transmisi dan kapasitas sistem. Memaksimumkan nilai D/R akan menghasilkan kualitas transmisi yang baik; sebaliknya meminimalkan D/R mengakibatkan sistem menjadi murah dan berkapasitas tinggi tetapi kualitasnya berkurang.

Geometri hexagonal seperti yang diuraikan diatas dapat di realisasikan dengan menempatkan base station ditengah-tengah sel atau di sudut-sudut hexagonal seperti terlihat pada gambar 3-8.



. : Lokasi Base Station
Gambar 3-8¹⁶⁾

Lokasi Base Station
(a) di Pusat Sel
(b) di Sudut Sel

¹⁶⁾ ibid hal 29

Dimana untuk keperluan masing masing penempatan diperlukan antena omnidirectional dan tiga sektor antena directional dengan masing masing lebar lobe 120° .

Apabila diperbandingkan sistem omnidirectional dan directional, maka sistem directional akan mengurangi pengaruh interferensi karena penggunaan kanal yang sama, karena grup kanal yang sama pada sel sel yang berdekatan berada di luar main lobe, dengan demikian harga D/R dari sistem directional dapat lebih kecil. Hal ini berarti mengurangi jumlah grup kanal. Jika jumlah total kanal adalah tetap, maka jumlah grup kanal yang lebih sedikit berarti menaikkan jumlah kanal tiap grup atau tiap sel, sehingga tiap sel akan meningkat kapasitasnya.

3.5. Efek Fading dan Shadowing pada Penggunaan Ulang Kanal

Prediksi yang dilakukan ini didasarkan pada model propagasi diantara base station dan mobil station yang mempunyai tiga aspek utama : fading, shadowing, dan redaman lintasan.

Dimana ketika kendaraan bergerak melalui daerah pelayanan sinyal s yang diterima berfluktuasi dengan cepat karena propagasi lintasan ganda yang terdistribusi Reyleigh tetapi sinyal rata-rata akibat fading masih berfluktuasi akibat shadowing yang terdistribusi lognormal (telah

dijelaskan pada bab II)

Dan aspek ketiga dipakai dimana digunakan pendekatan bahwa daya yang diterima berbanding terbalik dengan jarak pangkat empat.

Dari situ dapat dicari probabilitas interferensi kanal sama dan jarak pengulangan kanal sama.

3.5.1. Probabilitas Interferensi Kanal Sama dengan Fading dan Shadowing

Untuk menentukan besarnya probabilitas interferensi pada sinyal yang menderita fading dan shadowing, terlebih dahulu harus diketahui bentuk fungsi kerapatannya.

Bentuk fungsi kerapatan Rayleigh fading dan lognormal shadowing telah diketahui dari persamaan (2-26) dan (2-29).

Kemudian dengan menurunkan fungsi kerapatan probabilitas dari sinyal radio mobil yang sekaligus menderita fading (distribusi Rayleigh) dan shadowing (distribusi lognormal) sebagai berikut¹⁷⁾:

$$p(s) = \int_{\tilde{s}_d}^{\infty} p(s/\tilde{s}_d) \cdot p(\tilde{s}_d) d\tilde{s}_d$$

¹⁷⁾ Richard C. French, "The Effect of Fading and Shadowing Channal Reuse in Mobile Radio", IEEE Trans Veh Tech, Vol. VT-28, 1979

$$= \sqrt{\frac{\pi}{8\pi^2}} \int \frac{s}{\bar{s}^2} \exp \left[-\frac{\pi s^2}{4\bar{s}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{(s_d - m_d)^2}{2\sigma^2} \right] d\bar{s}_d \dots\dots\dots(3-6)$$

kemudian dengan mengganti \bar{s} dengan $10^{\bar{s}_d/20}$ (berasal dari $\bar{s}_d = 20 \log \bar{s}$) diperoleh,

$$p(s) = \sqrt{\frac{\pi}{8\sigma^2}} \int \frac{s}{10^{\bar{s}_d/10}} \exp \left[-\frac{\pi s^2}{4 \cdot 10^{\bar{s}_d/10}} \right] \cdot \exp \left[-\frac{(s_d - m_d)^2}{2\sigma^2} \right] d\bar{s}_d \dots\dots\dots(3-7)$$

Dari fungsi kerapatan probabilitas ini, kemungkinan level sinyal berada diatas nilai tertentu dapat ditentukan.

Rasio kuat medan sinyal yang berasal dari stasiun tetap yang dikehendaki (s_1) terhadap kuat sinyal yang berasal dari stasiun tetap yang tidak dikehendaki (sinyal s_2) dinamakan *rasio proteksi* (protection ratio). Bila pada suatu titik observasi terdapat sinyal yang dikehendaki s_1 dan terdapat pula sinyal yang tak dikehendaki s_2 , sedangkan *rasio proteksi* pada sistem tersebut (tergantung dari sistem modulasi yang digunakan) sebesar α , maka probabilitas interferensi kanal sama dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Prob}(s_1 \leq \alpha s_2) = P(s_2 \leq \alpha s_1) \dots\dots\dots(3-8)$$

Interferensi kanal sama terjadi jika $s_1 \leq \alpha s_2$ probabilitas tersebut dapat dihitung dengan menganggap $s_1 = x$, lalu ditentukan probabilitas $\alpha s_2 \geq x$, kemudian diintegrasikan terhadap x sebagai berikut :

$$P(s_1 \leq \alpha s_2) = \int_0^{\infty} p(s_1 = x) \cdot p\left(s_2 \geq \frac{x}{\alpha}\right) dx \dots\dots(3-9)$$

Dengan menggunakan persamaan (3-7) dan mengintegrasikan masing-masing suku yang kemudian disubstitusikan pada persamaan (3-9) maka diperoleh probabilitas interferensi kanal sama sebagai berikut:

$$P(s_1 \leq \alpha s_2) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-u^2)}{1 + 10^{(Z_d - 20u)/10}} du \dots(3-10)$$

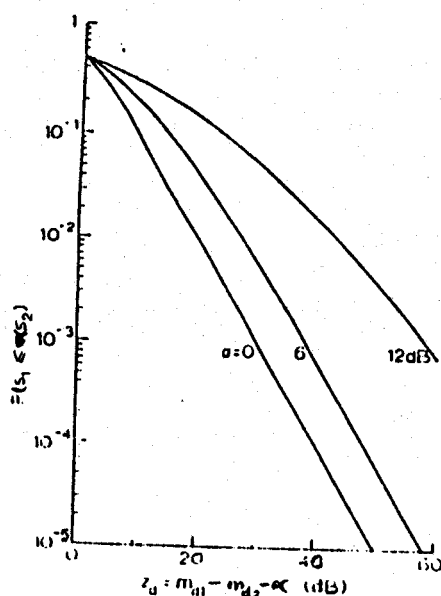
dimana : $Z_d = m_{d1} - m_{d2} - \alpha$ (dB)

m_{d1} = median sinyal s_1 (dB)

m_{d2} = median sinyal s_2 (dB)

α = $20 \log \alpha$; rasio proteksi (dB)

u = perubah internal

Gambar 3-9¹⁸⁾

Kurva Probabilitas Interferensi Kanal Sama

Integrasi pada persamaan (3-10) dievaluasi secara numerik dan hasilnya diekspresikan dalam bentuk kurva seperti nampak pada gambar di atas, yang menunjukkan kemungkinan probabilitas interferensi kanal sama sebagai fungsi dari z_d , dengan standard deviasi dalam lognormal shadowing sebagai parameter.

Berdasarkan kurva diatas dapat disimpulkan bahwa interferensi kanal sama terjadi meskipun dekat pemancar yang dikehendaki dimana sinyal yang dikehendaki (m_{d1}) jauh lebih besar dari sinyal yang tak dikehendaki (m_{d2}).

¹⁸⁾ ibid, hal 173

Sebagai contoh, ketika selisih tersebut bernilai 40 dB pada nilai rasio proteksi $\alpha = 10$ dB, probabilitas interferensi kanal sama hanya bernilai 0,1 % (fading saja), 0,6 % (sinyal mengalami shadowing 6 dB), dan 6 % (sinyal mengalami shadowing 12 dB).

Kenyataan bahwa probabilitas interferensi kanal sama $P(s_1 \leq \alpha s_2)$ sebagai fungsi $z_d = m_{d1} - m_{d2} - \alpha$ tidak tergantung pada level mutlak masing-masing sinyal. Tetapi ditentukan oleh selisih antara m_{d1} (dB) dengan m_{d2} (dB) pada suatu rasio proteksi α (dB) tertentu. Dan juga pengurangan nilai rasio proteksi α pada tingkat probabilitas interferensi kanal sama tertentu dapat memberi kelonggaran naiknya level sinyal yang tak dikehendaki.

3.5.2. Perhitungan Jarak Penggunaan Ulang

(Reuse Distance R_u)

Pengulangan kanal pada sistem cellular harus diberi jarak yang cukup sehingga pemakai tidak saling mengganggu karena interferensi kanal sama. Dengan menggunakan hukum daya berbanding empat dengan jarak atau rata-rata level sinyal dalam volt berbanding terbalik dengan kwadrat jarak sehingga dapat ditulis :

$$m_1 = \frac{k}{d_1^2} \dots\dots\dots(3-11)$$

$$m_2 = \frac{k}{d_2^2} \dots\dots\dots(3-12)$$

dimana : k = konstanta propagasi

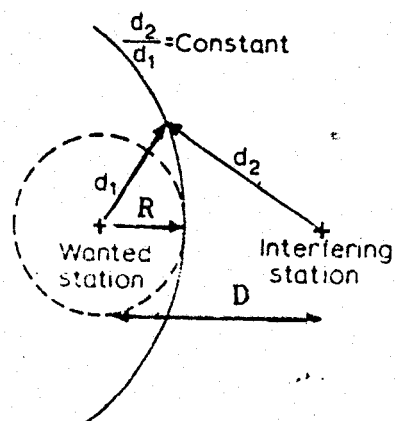
m_1 = level sinyal base station yang dikehendaki

m_2 = level sinyal base station yang tidak dikehendaki

d_1 = jarak mobil ke base station yang dikehendaki

d_2 = jarak mobil ke base station yang tidak dikehendaki

Hal ini dapat dilihat pada gambar 3-10



Gambar 3-10¹⁹⁾

Difinisi Penggunaan Ulang

Sehingga jarak penggunaan ulang (reuse distance) adalah :

$$R_u = \frac{D}{R} = 1 + \frac{d_2}{d_1} \dots\dots\dots(3-13)$$

¹⁹⁾ ibid hal 175

Rasio sinyal yang dikehendaki terhadap sinyal yang tidak dikehendaki adalah :

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \dots\dots\dots(3-14)$$

3.5.2.1. Jarak Penggunaan Ulang Tanpa Fading Dan Shadowing

Jarak penggunaan ulang dapat dihitung untuk masalah yang hipotesis dimana fading dan shadowing diabaikan dan sinyal yang diterima sama dengan rata-rata daerah yaitu $s_1 = m_1$ dan $s_2 = m_2$. Interferensi kanal sama terjadi jika $s_1 \leq \alpha s_2$, maka :

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \leq \alpha \dots\dots\dots(3-15)$$

Daerah yang selalu menderita interferensi kanal sama dan daerah yang selalu tidak menderita interferensi kanal sama dibatasi oleh tempat kedudukan yang memenuhi persamaan :

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{\alpha} \dots\dots\dots(3-16)$$

Sehingga jarak penggunaan ulang dan bila ditulis dalam satuan dB menjadi :

$$R_u = \frac{D}{R} = 1 + 10 (\alpha/40) \dots\dots\dots(3-17)$$

dimana : R_u = Jarak penggunaan ulang

D = Jarak antara pusat sel yang menggunakan kanal sama

R = radius sel

α = rasio proteksi (dB)

3.5.2.2. Efek Fading Dan Shadowing Pada Jarak Penggunaan Ulang

Tidak ada batas yang sederhana diantara daerah-daerah dengan atau tanpa interferensi, interferensi kanal sama dapat terjadi dimana saja meskipun dekat dengan pemancar yang diinginkan bilamana fading dan shadowing terjadi dalam tingkat yang melampaui batas nilai yang diperhitungkan secara statistik.

Gambar 3-9 menunjukkan kemungkinan interferensi kanal sama sebagai fungsi $z_d = m_{d1} - m_{d2} - \alpha$. Ini dapat ditulis dalam bentuk linier :

$$\frac{m_1}{m_2} = z \alpha \quad \dots\dots\dots(3-18)$$

dengan memasukkan persamaan (3-18) ke dalam persamaan (3-15) diperoleh :

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{z \alpha} \quad \dots\dots\dots(3-18)$$

Jadi jarak penggunaan ulang dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$R_u = \frac{D}{R} = 1 + 10 (z_d + \alpha/40) \dots\dots\dots(3-18)$$

dimana : R_u = Jarak pnggunaan ulang

D = Jarak antara pusat sel yang menggunakan kanal sama

R = radius sel

α = rasio proteksi (dB)

$$z_d = m_{d1} - m_{d2} - \alpha.$$

Tabel 3-1 sampai 3-3 menunjukkan jarak penggunaan ulang dalam hubungannya dengan tingkat probabilitas interferensi kanal sama yang terjadi dan nilai z_d untuk fading saja dan $\sigma = 6$ dan $\sigma = 12$ shadowing.

Tabel 3-1.

Jarak penggunaan ulang (Fading saja)

Reuse distance, $R_u = D/R$					
$P(s_1 \leq \alpha s_2)$	z_d (dB)	$\alpha = 8$	12	16	20
0,5	0	2,58	3	3,51	4,16
0,3	3,69	2,96	3,46	4,11	4,91
0,1	9,51	3,74	4,46	5,35	6,47
$3 \cdot 10^{-2}$	15,1	4,78	5,76	6,99	8,54
10^{-2}	20	6,01	7,31	8,94	11
$3 \cdot 10^{-3}$	25,2	7,76	9,51	11,7	14,5

Tabel 3-2

Jarak Penggunaan Ulang ($\sigma = 6$ dB Shadowing)

Reuse Distance, $R_u = D/R$					
$P(s_1 \leq \alpha s_2)$	z_d (dB)	$\alpha = 8$	12	16	20
0,5	0	2,58	3	3,51	4,16
0,3	3,69	3,22	3,8	4,53	5,44
0,1	9,51	4,67	5,62	6,82	8,33
$3 \cdot 10^{-2}$	15,1	6,36	8	9,81	12,1
10^{-2}	20	8,72	10,7	13,2	16,4
$3 \cdot 10^{-3}$	25,2	11,7	14,5	18	22,4

Tabel 3-3

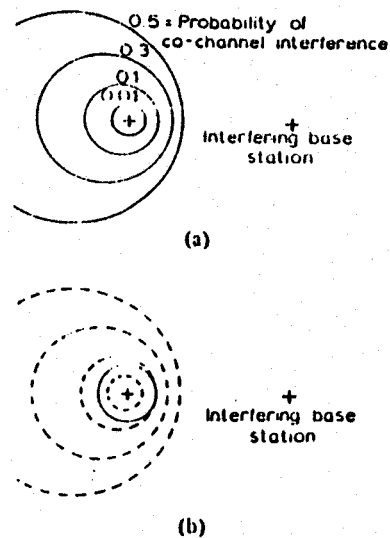
Jarak Penggunaan Ulang ($\sigma = 12$ dB Shadowing)

Reuse Distance, $R_u = D/R$					
$P(s_1 \leq \alpha s_2)$	z_d (dB)	$\alpha = 8$	12	16	20
0,5	0	2,58	3	3,51	4,16
0,3	3,69	3,70	4,51	5,42	6,56
0,1	9,51	7,27	8,91	11	13,5
$3 \cdot 10^{-2}$	15,1	13	16,1	20	25
10^{-2}	20	20,6	25,7	32,1	39,5
$3 \cdot 10^{-3}$	25,2	27,76	34,51	41,7	51,5

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan adanya fading dan shadowing menyebabkan interferensi pada sembarang titik. Besaran yang membatasi adalah probabilitas interferensi kanal sana.

Gambar 3-11a menunjukkan garis batas kemungkinan

interferensi kanal sama untuk $\sigma = 6$ dB shadowing dan rasio proteksi 12 dB. Probabilitas interferensi yang rendah hanya diperoleh di daerah yang kecil dan hampir berbentuk lingkaran di sekeliling pemancar yang diinginkan.

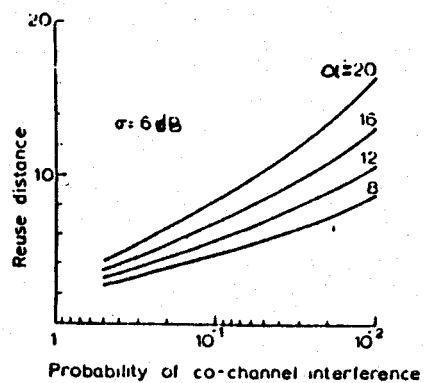


Gambar 3-11²⁰⁾

Tingkat Interferensi Kanal Sama

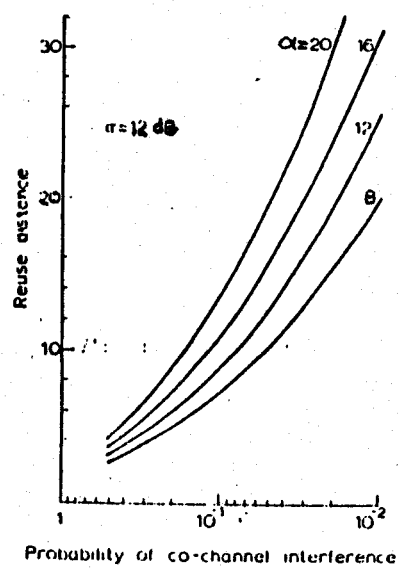
Gambar 3-11b menunjukkan sebuah contoh daerah yang pelayanan berbentuk lingkaran dibatasi oleh probabilitas interferensi 10 persen dan memberi gambaran cara jarak penggunaan ulang sebagai fungsi probabilitas interferensi diperoleh.

²⁰⁾ ibid hal 176

Gambar 3-12²¹⁾

Jarak penggunaan ulang dengan fading dan

$\sigma = 6$ dB shadowing

Gambar 3-13²²⁾

Jarak penggunaan ulang dengan fading dan

$\sigma = 12$ dB shadowing

21) ibid hal 176

22) ibid hal 176

Kesimpulan yang juga digambarkan pada gambar (3-12) dan (3-13) menunjukkan bahwa untuk menghindari semakin tinggi tingkat interferensi kanal sama perlu menggunakan jarak penggunaan ulang yang besar. Sebagai contoh pada tingkat interferensi 3 persen dan rasio proteksi 12 dB, jarak penggunaan ulang 5,76 (fading saja), 8 ($\sigma = 6$ dB shadowing), 16,1 ($\sigma = 12$ dB shadowing).

Dengan diketahui konsep sel dan efek fading dan shadowing pada interferensi kanal sama dan jarak pengulangan kanal. Maka dalam perencanaan sisten cellular tinggal memprediksi daya dan redaman propagasi untuk menentukan daerah cakupan (coverage area) pada sel yang diinginkan. Hal ini akan dibahas pada bab berikutnya.

B A B IV

REDAMAN PROPAGASI GELOMBANG RADIO

4.1. U M U M

Redaman propagasi (perambatan) merupakan selisih antara daya yang dipancarkan dengan daya yang diterima. Pada sistem komunikasi radio, besarnya redaman perambatan tersebut antara lain dipengaruhi oleh ; frekuensi kerja yang digunakan, jarak antara pemancar dan penerima, kondisi udara sebagai medium transmisi termasuk faktor yang mempengaruhinya, obyek yang dapat menghalangi lintasan perambatan gelombang (gunung, bukit, bangunan, dan pepohonan).

Pada bab ini dibahas cara penurunan rumus empiris redaman propagasi yang dilakukan oleh Hata berdasarkan hasil percobaan Okumura pada daerah urban, sub urban, dan terbuka.

Dan kemudian juga dicari besarnya daya penerimaan dengan memperhatikan faktor koreksi daerah perambatan.

4.2. Klasifikasi dan Definisi Daerah Perambatan

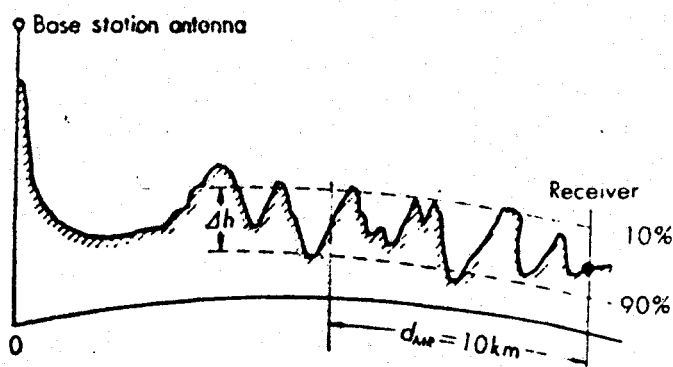
Topografi permukaan bumi sangat beraneka ragam. Namun pada dasarnya dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Permukaan bumi datar atau dapat dianggap datar (quasi-smoot terrain).
2. Permukaan bumi tidak datar atau berbukit (irregular terrain)

Batas yang jelas antara kedua jenis permukaan bumi itu tidak didefinisikan secara pasti. Tetapi Okumura beserta staf memberikan batasan bahwa permukaan bumi sekalipun bergelombang namun tinggi undulasinya (perbedaan permukaan bumi tertinggi dengan permukaan bumi terendah) tidak lebih rendah dari 20m.

Tinggi undulasi Δh menyatakan tingkat ketidakdataran (ketidak teraturan) permukaan bumi pada suatu daerah. Tinggi Δh dapat ditentukan berdasarkan batasan seperti diperlihatkan pada gambar 4-1, yakni selisih ketinggian antara 10 % sampai 90 % dihitung dari permukaan tertinggi (puncak) pada jarak jangkauan sekitar 10 km.

Selain kondisi permukaan bumi, bangunan atau pepohonan disekitar daerah perambatan sangat berpengaruh pula terhadap redaman perambatan.

Gambar 4-1²⁹⁾Tinggi Undulasi (Δh)

Berdasarkan keanekaragaman kondisi lingkungan, daerah perambatan sinyal pada komunikasi radio mobil diklasifikasikan sebagai berikut :

4.2.1. Daerah Terbuka (Open Area)

Yakni daerah perambatan yang dapat dilalui oleh gelombang yang merambat dari pemancar sampai ke penerima dengan tidak banyak halangan atau pemantul. Tidak terdapat pepohonan yang tinggi ataupun bangunan-bangunan. Sebagai contoh daerah terbuka adalah daerah pertanian, pesawahan atau perkebunan yang hanya mengandung tanaman yang tidak tinggi atau sebagainya.

²⁹⁾ Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawanishi, and K. Fukuda, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service", Rev Elec Com Lab, vol 16, Sept-Oct 1968, hal 862



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

4.2.2. Daerah Sub Urban (Sub Urban Area)

Yakni daerah pedesaan atau daerah jalan raya dipinggir kota yang mengandung beberapa penghalang (penghambur) disekitar stasion mobil, namun tidak terlalu padat.

4.2.3. Daerah Urban (Urban Area)

Yakni daerah kota yang padat dengan bangunan-bangunan tinggi, rumah - rumah, kantor-kantor, pertokoan, dan sebagainya. Daerah urban ini dipisahkan lagi ke dalam dua kelompok yakni²⁵⁾:

1. Daerah kota non metropolitan (medium-small city) yang menggambarkan kota yang padat oleh populasi dan terdapat beberapa gedung-gedung yang tinggi, serta kepadatan lalu-lintas yang terjadi hanya pada saat-saat tertentu.
2. Daerah kota metropolitan (large city) yang dicirikan dengan kepadatan populasi yang tinggi dan banyaknya gedung pencakar langit, kepadatan lalu lintas hampir terjadi setiap saat. Sebagai contoh kota metropolitan adalah : New York, Los Angeles, Philadelphia, Tokyo, sedangkan di Indonesia mungkin baru Jakarta saja.

²⁵⁾ Teguh Prasetya M. W. P. "Studi Pengkajian Teknik Pengukuran Kuat Medan pada Sistem Rasio Cellular", Tugas Akhir, hal 60

4.3. Rumus Empiris Redaman Propagasi (Perambatan)

Daya yang ditangkap oleh antenna penerima dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_r \text{ (dBm)} = P_u \text{ (dBm/m}^2\text{)} + 10 \log (A_{\text{eff}}) \dots\dots(4-1)$$

dimana:

P_r = daya penerimaan (dBm)

$P_u = P_t / 4\pi d^2$ (dBm/m²) ; rapat daya penerimaan

P_t = daya pancar (dBm EIRP, Effective Isotropically Radiated Power)

d = jarak pemancar-penerima (m)

A_{eff} = luas tangkap antenna penerima (m²)

Luas tangkap antenna penerima dapat dinyatakan sebagai,

$$A_{\text{eff}} = \lambda^2 / 4\pi, \lambda \text{ panjang gelombang} \dots\dots(4-2)$$

Bila impedansi intrinsik udara (ruang bebas) adalah 120π

$$P_u \text{ (dBm/m}^2\text{)} = E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} - 10 \log (120\pi) - 90 \dots\dots (4-3)$$

dimana :

$E \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$ = kuat medan penerimaan.

Redaman perambatan adalah selisih antara daya pancar dengan daya penerimaan sebagai berikut :

$$L_p \text{ (dB)} = P_t - P_r$$

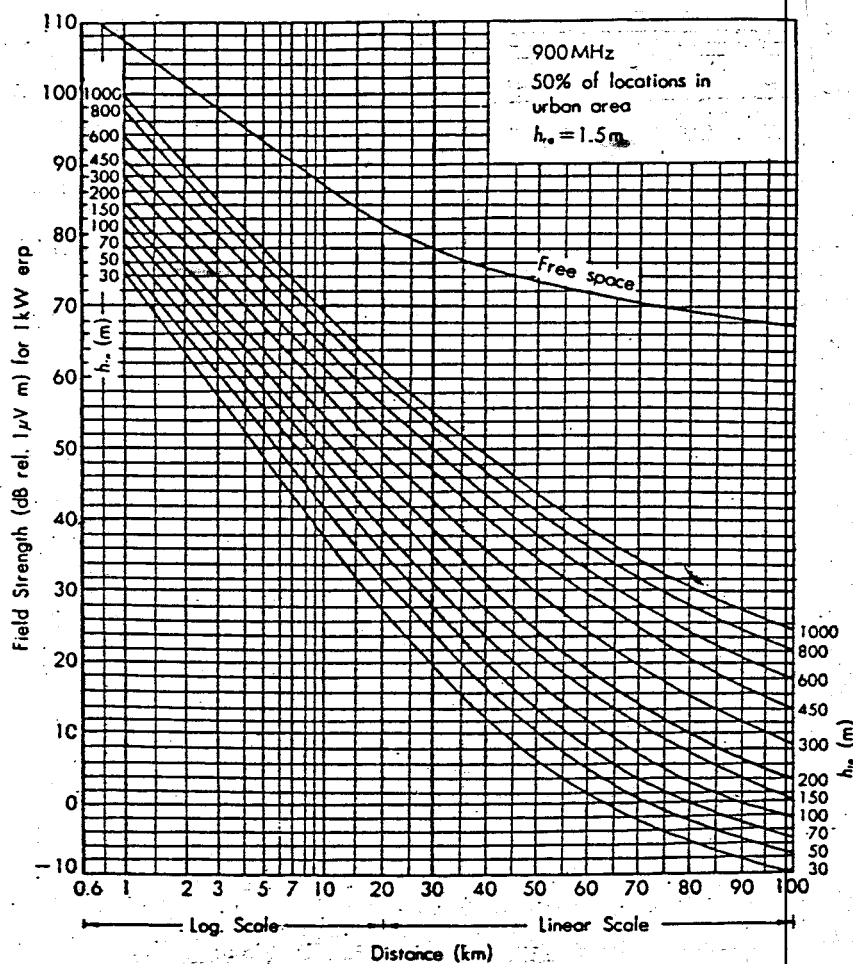
$$= P_t \text{ (dBW)} - E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} - 10 \log (\lambda / 4\pi)^2 + 145,8 \dots\dots(4-4)$$

Daya pancar $P_t \text{ (dBW)}$ dan kuat medan $E \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$ diperoleh berdasarkan kurva kuat medan standard hasil percobaan Okumura.

Karena kurva kuat medan standard merupakan hasil percobaan perambatan di daerah urban, maka rumus empiris

redaman propagasi yang diperoleh adalah untuk daerah urban pula. Redaman pada daerah lain diberikan dengan menambahkan *faktor koreksi*.

Kurva kuat medan pada frekwensi 900 MHz ditunjukkan pada gambar 4-2. Kurva tersebut didasarkan pada daya pancar 1 KW ERP (Effective Radiated Power) terhadap dipole.



Gambar 4-2^{2B)}

Kurva Kuat Medan Standard.

^{2B)} Okomura, op. cit, hal 59

Karena kurva didasarkan pada daya pancar 1 kW ERP/dipole, sedangkan penguatan antena dipole terhadap antena isotropis adalah 2,2 dB, maka dari ERP/dipole ke EIRP adalah :

$$P_t(\text{dBW EIRP}) = P_t'(\text{dBW ERP/dipole}) + 2,2 \text{ (dB)} \dots(4-5)$$

dimana :

$$P_t = \text{daya pancar EIRP (dBW)}$$

$$P_t' = \text{daya pancar ERP/dipole (dBW)}.$$

Bila $P_t' = 1 \text{ kW (ERP/dipole)}$, maka $P_t(\text{dBW EIRP}) = 32,2 \text{ dB}$

Dengan mengambil kuat medan $E \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$ dari kurva standard seperti pada gambar 4-2 maka rumus redaman perambatan pada (3-20) akan menjadi ²⁹⁾:

$$L_p(\text{dB}) = 178 - 10 \log(\lambda^2/4\pi) - E(\text{dB}\mu\text{V/m}) \dots(4-6)$$

Dari kurva diatas , kuat medan $E(\text{dB}\mu\text{V/m})$ sebagai fungsi jarak $R(\text{km})$ dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E(\text{dB}\mu\text{V/m}) = \gamma + \beta \log R \dots\dots\dots(4-7)$$

dimana γ dan β adalah tetapan yang bergantung pada $h_b(\text{m})$ dan $f_c(\text{MHz})$.

²⁹⁾ M. Hata, "Emperical Formula For Propagation Loss Land Mobile Radio Service", IEEE Trans Veh Tech, Vol VT-29, No 3, 1980, hal 318

Dengan memasukkan persamaan (4-6) ke (4-7) diperoleh:

$$L_p(\text{dB}) = A + B \log R \quad \dots\dots\dots(4-8)$$

dimana :

$$A = 178 - 10 \log(\lambda^2/4\pi) - \gamma - a(h_m) \quad \dots\dots\dots(4-9)$$

$$B = - \beta \quad \dots\dots\dots(4-10)$$

$a(h_m)$ = koreksi ketinggian antena stasion mobil
relatif terhadap $h_m = 1,5\text{m}$ { $a(h_m) = 0 \text{ dB}$
untuk $h_m = 1,5 \text{ m}$ }.

Nilai A dan B pada persamaan (4-8) dapat ditentukan sebagai berikut :

Nilai A diperoleh dengan menggunakan persamaan (4-7) pada $R = 1 \text{ km}$, sehingga nilai $\gamma = E$. Kemudian dengan menggunakan (4-9) nilai A dapat dihitung karena panjang gelombang λ diketahui untuk berbagai nilai f_c dan beberapa nilai h_b , faktor A ditabelkan pada tabel 4-2

Kemudian nilai B juga dapat ditentukan dari kurva kuat medan pada gambar 4-7, yang merupakan kemiringan (gradien) kurva E sebagai fungsi $\log R$. Nilai B untuk berbagai nilai f_c dan berbagai nilai h_b ditabelkan pada tabel 4-2.

Dari keteraturan-keteraturan nilai A dan B yang dapat disimak dari tabel 4-1 dan 4-2, persamaan matematiknya akan mudah ditentukan bila nilai A dan B tersebut diekspresikan dalam bentuk kurva seperti nampak pada gambar 4-3 (penentuan persamaan faktor A) dan kurva

pada gambar 4-4 (penentuan persamaan faktor B).

Tabel 4-1

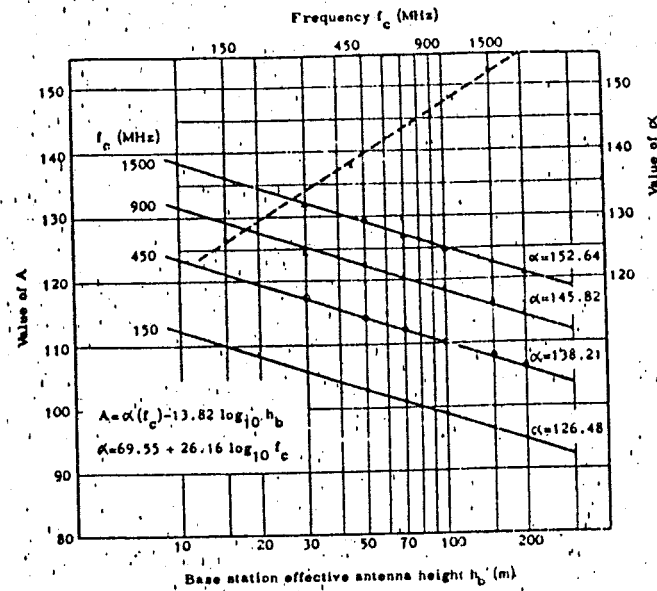
Nilai A

	f_c (MHz)			
h_b (m)	150	450	900	1500
30	105,5	117,0	124,5	132,0
50	103,0	114,0	122,5	129,5
70	101,0	112,0	120,5	127,0
100	98,5	110,0	118,0	125,0
150	96,5	108,0	116,5	123,0
200	94,5	106,0	114,5	121,0

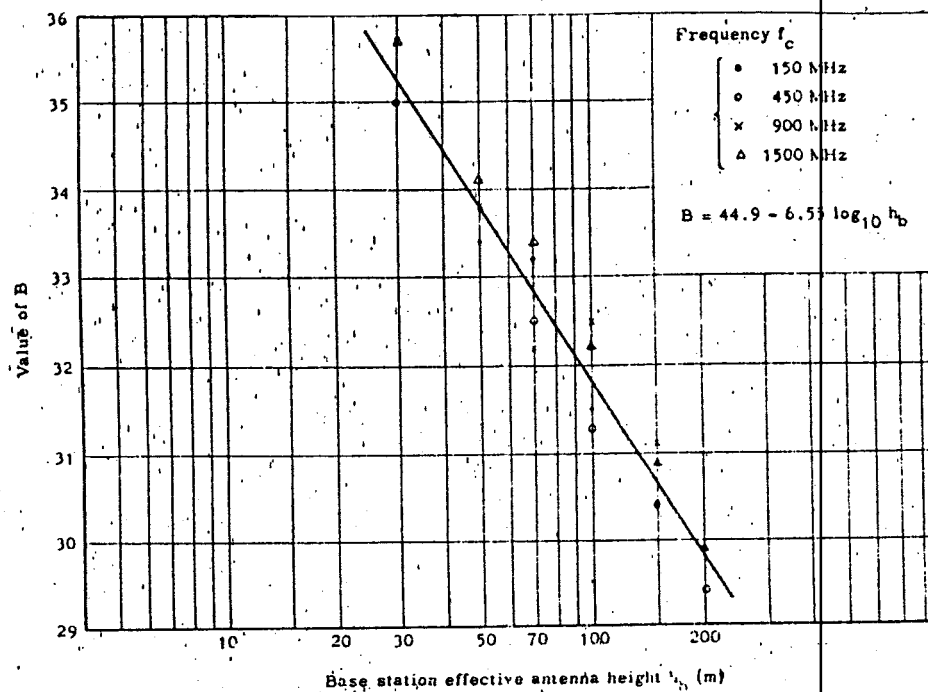
Tabel 4-2

Nilai B

	f_c (MHz)			
h_b (m)	150	450	900	1500
30	35,0	35,0	35,7	35,7
50	33,4	34,1	33,8	34,1
70	33,2	32,5	32,2	33,4
100	31,5	31,3	32,5	32,2
150	30,4	30,4	31,1	30,9
200	29,9	29,4	29,9	29,9

Gambar 4-3³⁰⁾

Penentuan Persamaan Faktor A

Gambar 4-4³¹⁾

Penentuan Persamaan Faktor B

30) ibid, hal 318

31) ibid, hal 320

Berdasarkan kurva pada gambar 4-3, faktor A merupakan fungsi logaritmik terhadap h_b untuk setiap nilai f_c sehingga persamaan faktor A dapat ditulis.

$$A = \alpha - 13,82 \log h_b - a(h_m) \dots\dots\dots(4-11)$$

faktor α pada persamaan (4-11) merupakan fungsi logaritmik terhadap f_c dan dapat dinyatakan sebagai,

$$\alpha = 69,55 + 26,16 \log f_c \dots\dots\dots(4-12)$$

Dengan cara yang serupa, nilai B dapat ditentukan dari kurva pada gambar 4-4. Nilai B berupa fungsi logaritmik terhadap h_b dan relatif tetap terhadap f_c , sehingga dapat dinyatakan sebagai

$$B = 44,9 - 6,55 \log h_b \dots\dots\dots(4-13)$$

Dengan mensubstitusikan nilai A dan B pada persamaan (4-11) sampai (4-13) ke dalam persamaan (4-8), maka rumus empiris redaman perambatan pada daerah urban dapat dinyatakan sebagai berikut³²⁾ :

$$L_p(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h_m) \\ + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R \dots\dots\dots(4-14)$$

³²⁾ ibid hal 318

dimana :

- f_c = frekuensi kerja ; 150 - 1500 MHz
- h_b = tinggi antenna stasion tetap ; 30 - 200 m
- R = jarak pemancar-penerima ; 1 - 20 km
- $a(h_m)$ = koreksi tinggi antenna stasion mobil (dB),
dan $a = 0$ untuk $h_m = 1,5$ m

4.3.1. Faktor Koreksi Tinggi Antena Stasion Mobil $a(h_m)$

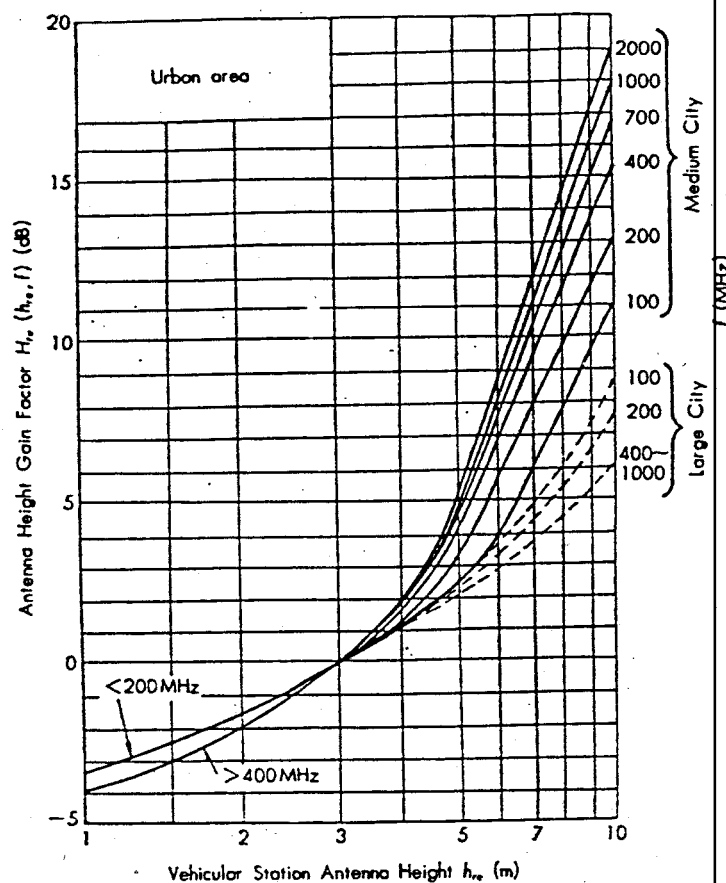
Koreksi tinggi antenna stasion mobil $a(h_m)$ ditunjukkan pada gambar 4-5, yang berupa kurva relatif terhadap tinggi antenna stasion mobil $h_m = 3$ m. Koreksi tersebut dilakukan pada daerah urban yang datar sebagai berikut :

1. Garis penuh menyatakan koreksi untuk daerah urban non-metropolitan.
2. Garis putus-putus menyatakan koreksi daerah urban metropolitan.

4.3.1.1. Faktor Koreksi $a(h_m)$ Pada Daerah Non Metropolitan

Jika kurva koreksi daerah non metropolitan pada kurva koreksi tinggi antenna stasion mobil (dinyatakan dengan garis penuh pada gambar 4-5, Sumbu mendatarnya dikonversikan ke skala linear maka bentuk kurva tersebut

akan lurus seperti nampak pada gambar 4-6.

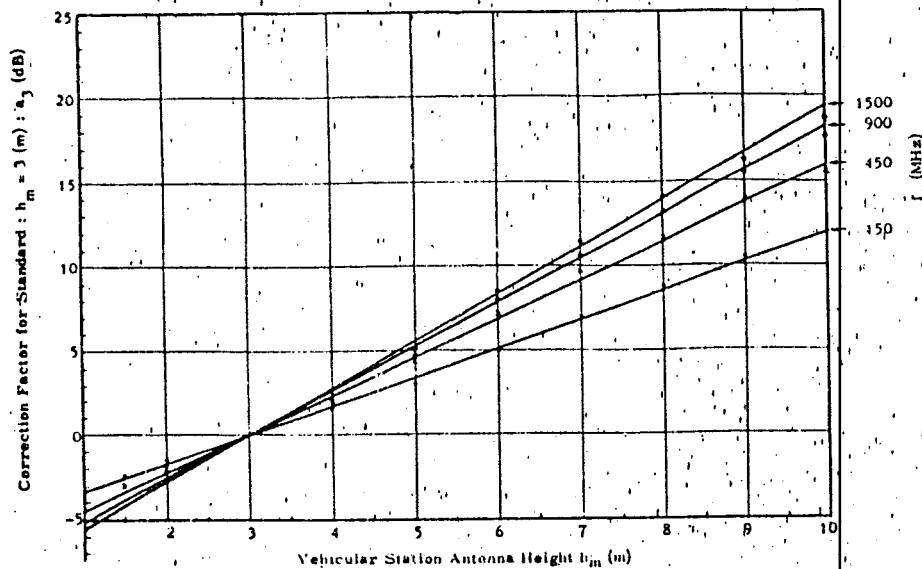


Gambar 4-5³³⁾

Faktor Koreksi Tinggi Antena Stasiun Mobil

Selanjutnya, karena rumus redaman perambatan L_p mengambil tinggi antena stasion mobil $h_m = 1,5$ m sebagai standard maka $a(h_m)$ harus bernilai 0 dB bila $h_m = 1,5$ m.

³³⁾ Okomura, op. cit, hal 850

Gambar 4-6³⁴⁾

Faktor Koreksi Pada Daerah Non-Metropolitan.

Agar hal ini dapat terpenuhi, maka berdasarkan gambar 4-6. koreksi pada daerah non-metropolitan dapat dinyatakan sebagai :

$$a_{1,5} = \xi(f_c) h_m - \eta(f_c) \dots\dots\dots (4-15)$$

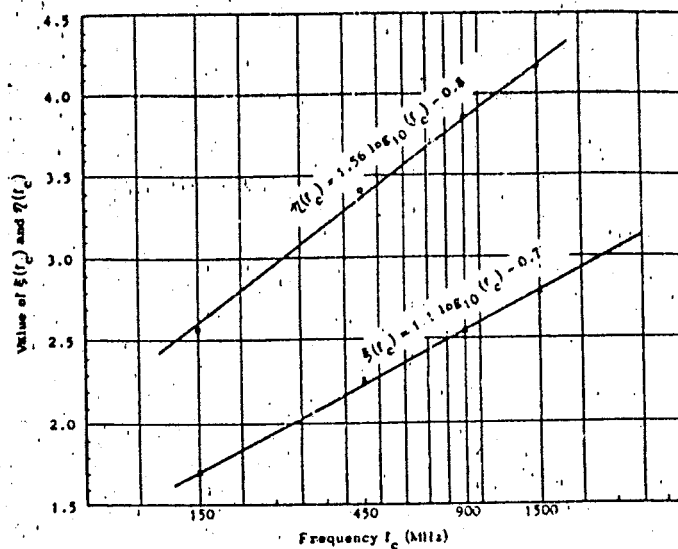
dimana :

$\xi(f_c)$ = kemiringan kurva

$\eta(f_c)$ = suatu tetapan

Nilai $\xi(f_c)$ dan $\eta(f_c)$ dapat ditentukan melalui kurva pada gambar 4-7 sebagai berikut :

³⁴⁾ M. Hata, op. cit, hal 320

Gambar 4-7³⁵⁾

Penentuan $\xi(f_c)$ dan $\eta(f_c)$

$$\xi(f_c) = 1,1 \log (f_c) - 0,7 \quad \dots\dots\dots(4-16)$$

$$\eta(f_c) = 1,56 \log (f_c) - 0,8 \quad \dots\dots\dots(4-17)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (4-16) dan (4-17) ke persamaan (4-15) diperoleh nilai koreksi tinggi antenna stasion mobil pada daerah non-metropolitan yaitu :

$$a(h_m) = (1,1 \log f_c - 0,7)h_m - (1,56 \log f_c - 0,8) \quad \dots(4-18)$$

³⁵⁾ ibid, hal 321

dimana :

$a(h_m)$ = koreksi tinggi antenna stasion mobil (dB)

h_m = tinggi antenna stasion mobil (m)

f_c = frekuensi kerja (MHz)

4.3.1.2. Faktor Koreksi Pada Daerah Metropolitan

Koreksi tinggi antenna stasion mobil pada daerah metropolitan digambarkan dengan garis putus-putus pada kurva di gambar 4-5. Bentuk kurva tersebut dapat didekati dengan persamaan fungsi parabola.

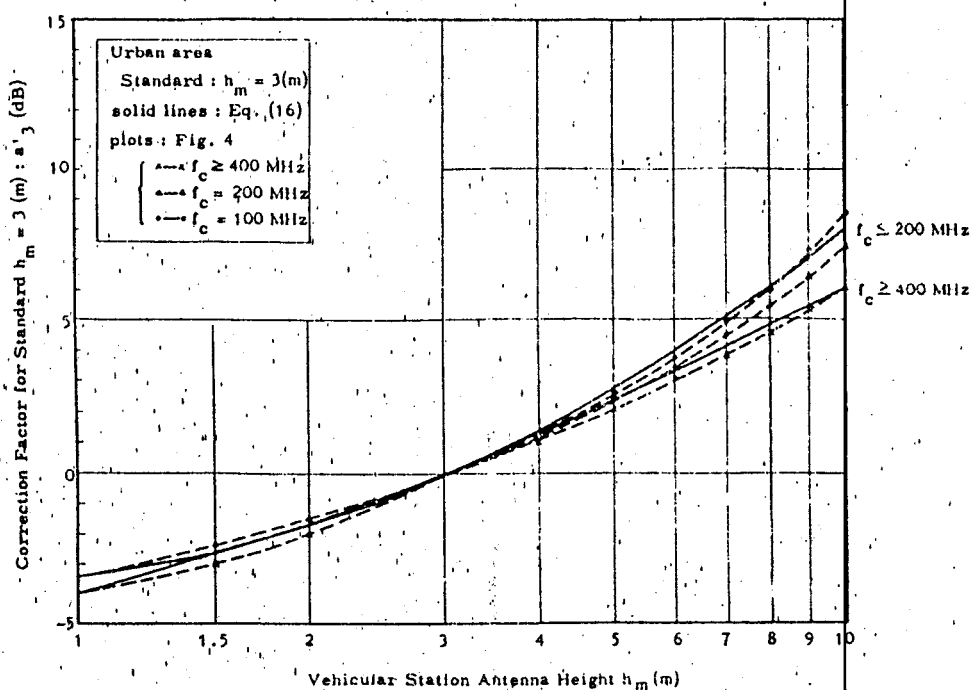
Bila kurva garis putus-putus tersebut akan digambarkan kembali seperti yang nampak pada gambar 4-8, maka aproksimasi dari kurva tersebut menyatakan koreksi tinggi antenna stasion mobil pada daerah metropolitan relatif terhadap tinggi antenna stasion mobil $h_m = 3$ m dan dapat ditulis,

$$a_s = 8,29 \cdot (\log 1,54 h_m)^2 - 3,69 \text{ (dB)}$$

$$f_c \leq 200 \text{ MHz}$$

$$= 3,2 \cdot (\log 11,75 h_m)^2 - 7,63 \text{ (dB)}$$

$$f_c \geq 400 \text{ MHz} \quad \dots(4-19)$$

Gambar 4-8.³⁶⁾

Faktor Koreksi Pada Daerah Metropolitan.

Karena rumus empiris redaman perambatan didasarkan pada tinggi antenna stasion mobil $h_m = 1,5 \text{ m}$, maka koreksi tinggi antenna stasion mobil pada daerah metropolitan harus dinyatakan sebagai berikut :

$$a(h_m) = 8,29 \cdot (\log_{10} 1,54 h_m)^2 - 1,10(\text{dB})$$

$$f_c \leq 200 \text{ MHz}$$

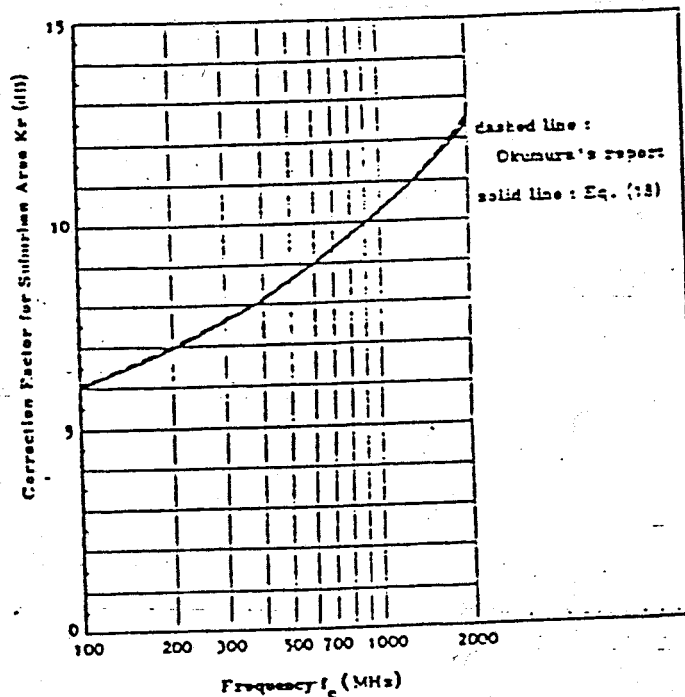
$$= 3,2 \cdot (\log 11,75 h)^2 - 4,97 (\text{dB})$$

$$f_c \geq 400 \text{ MHz} \dots(4-20)$$

³⁶⁾ ibid, hal 321

4.3.2. Faktor Koreksi Daerah Sub Urban dan Daerah Terbuka

Berdasarkan percobaan Okumura dan staff, koreksi untuk redaman perambatan didaerah suburban (yang dinyatakan dengan notasi K_r (dB) ditunjukkan sebagai kurva koreksi pada gambar 4-9 yang berupa kurva garis putus-putus. Nilai faktor koreksi K_r (dB) merupakan selisih antara daya penerimaan didaerah urban dengan daya penerimaan didaerah suburban.



Gambar 4-9 ³⁷⁾

Faktor Koreksi Pada Daerah Sub Urban.

Aproksimasi matematis dari kurva tersebut (yang dinyatakan dengan kurva garis penuh) memiliki bentuk

³⁷⁾ *ibid*, hal 323

persamaan sebagai berikut :

$$K_r(\text{dB}) = 2\{\log(f_c/28)\}^2 + 5,4 \dots\dots\dots(4-21)$$

dimana : f_c = frekuensi kerja (MHz).

Redaman perambatan pada daerah suburban dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$L_{ps}(\text{dB}) = L_p(\text{daerah urban}) - K_r(\text{dB}) \dots\dots(4-22)$$

dimana :

L_{ps} = redaman pada daerah suburban (dB)

K_p = redaman pada daerah urban (dB)

K_r = koreksi pada daerah suburban (dB)

Kemudian koreksi redaman pada daerah terbuka $Q_r(\text{dB})$, digambarkan sebagai kurva yang berupa garis putus-putus pada gambar 4-10. Kurva yang berupa garis penuh menyatakan hasil aproksimasi matematis terhadap hasil percobaan Okumura, yang dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$Q_r(\text{dB}) = 4,78(\log f_c)^2 - 18,33 \log f_c + 40,49 \dots\dots(4-23)$$

dimana :

Q_r = koreksi pada daerah terbuka (dB)

f_c = frekuensi kerja (MHz).

Redaman perambatan pada daerah terbuka dapat dinyatakan sebagai berikut:

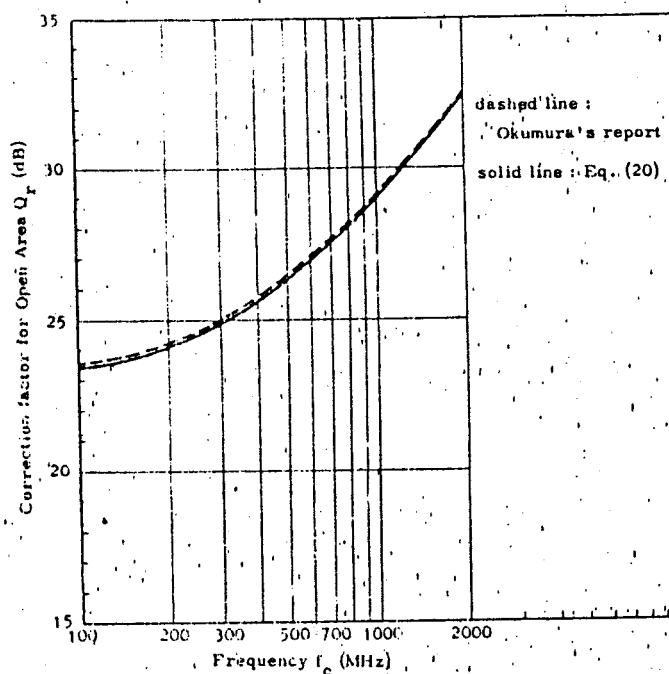
$$L_{po}(\text{dB}) = L_p(\text{daerah urban}) - Q_r \dots\dots\dots(4-24)$$

dimana :

L_{po} = redaman perambatan pada daerah terbuka (dB)

L_p = redaman perambatan pada daerah urban (dB)

Q_r = koreksi redaman pada daerah terbuka (dB)



Gambar 4-10 ³⁸⁾

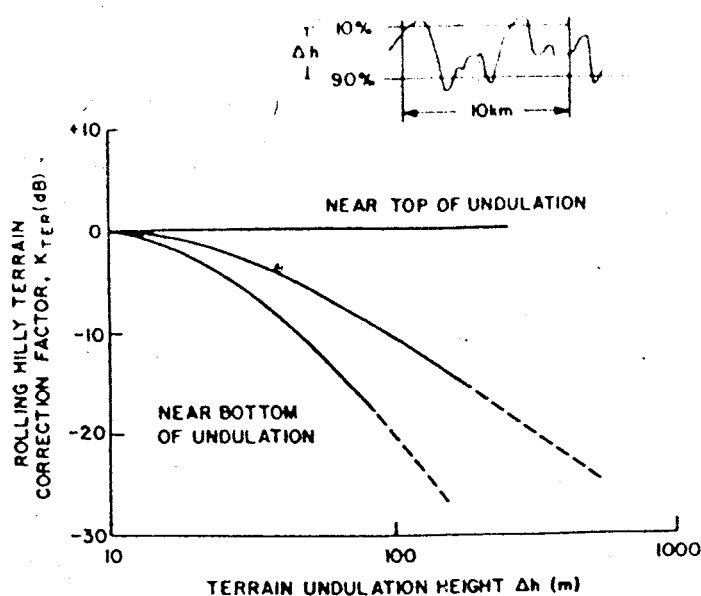
Faktor Koreksi Pada Daerah Terbuka.

4.3.3. Faktor Koreksi Pada Dataran Yang Berbukit, Miring, dan Dalam Lingkungan Darat - Laut

Kurva faktor koreksi untuk daratan yang berbukit

³⁸⁾ ibid, hal 324

diberikan pada gambar 4-11. Untuk harga yang lebih teliti akan tergantung pada frekuensi dan jarak kedua antena. Jika lokasi kendaraan diketahui berada mendekati bagian atas bukit, faktor koreksi pada gambar dapat diabaikan, jika lokasinya mendekati bagian dasar bukit maka redamannya akan lebih tinggi dan hal ini ditunjukkan pada kurva melengkung ke bawah pada gambar 4-11.



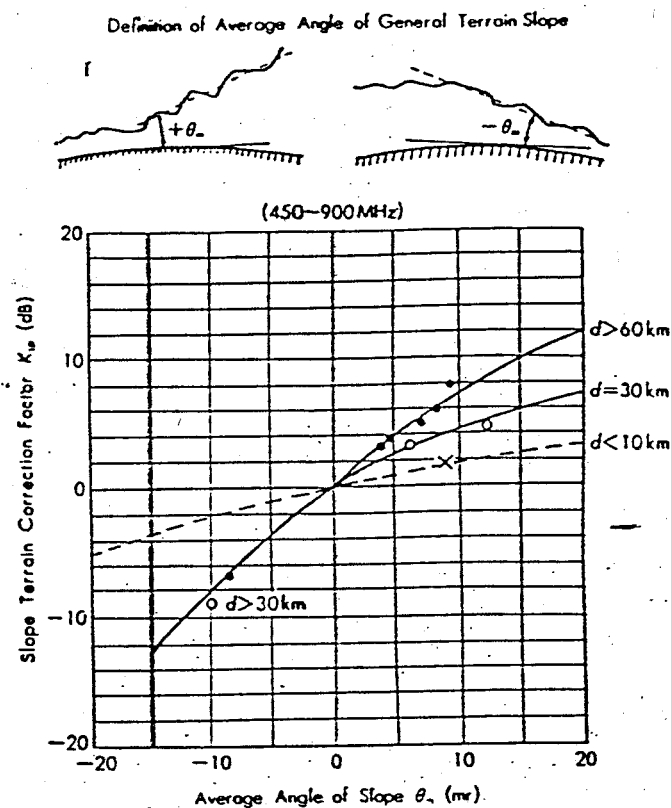
Gambar 4-11³⁹⁾

Faktor Koreksi Pada Dataran Yang Berbukit

Untuk keadaan dataran miring pada jarak sekitar 5 sampai 10 km, maka diperlukan faktor koreksi. Kemiringan θ_m diukur dalam mili radian seperti ditunjukkan pada gambar 4-12 dan juga menunjukkan faktor koreksi

³⁹⁾ Douglas O. Reudink, "Properties of Mobile Radio Propagation Above 400 MHz, IEEE Trans Vehicular Tech, Nov 1974, hal 155

terhadap perubahan kemiringan θ_m yang tergantung dari jarak antara antenna stasiun tetap dan stasiun mobil.



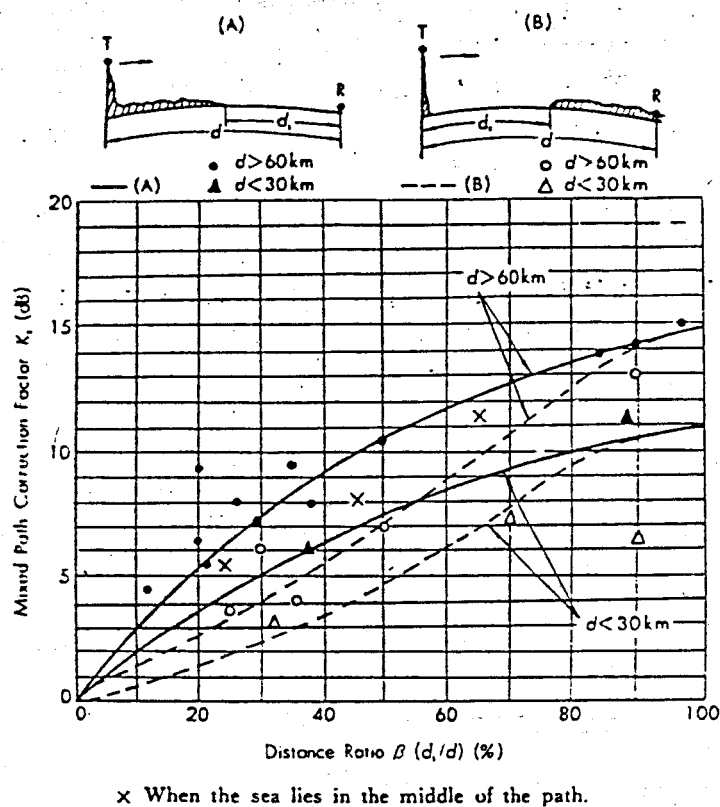
Gambar 4-12⁴⁰⁾

Faktor Koreksi Pada Dataran Yang Miring

Untuk keadaan dimana antara pemancar dan penerima terdapat daerah perairan maka kuat sinyal penerimaan akan cenderung lebih tinggi dibandingkan daerah daratan, sehingga juga diperlukan faktor koreksi. Perubahan pada kuat sinyal tergantung dari jarak antara pemancar dan

⁴⁰⁾ Okumura, op. cit, hal 857

penerima, dan posisi letak perairan pada jarak antara pemancar dan penerima. Gambar 4-13 menunjukkan faktor koreksi terhadap β (bagian lintasan propagasi sinyal yang berada diatas perairan) untuk dua keadaan. Keadaan A penerima dekat dengan perairan, keadaan B pemancar dekat dengan perairan.



Gambar 4-13⁴¹⁾

Faktor Koreksi Pada Dataran Darat - Laut

⁴¹⁾ op cit, hal 858

Rumus empiris redaman propagasi yang diperoleh Hata berdasarkan data hasil percobaan Okomura dapat dilihat pada tabel 4-3 yaitu sebagai berikut⁴²⁾.

Tabel 4-3

Rumus Empiris Redaman Propagasi.

	$L_p = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h)_m$ $+ (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R \dots (dB)$	
daerah urban (kota)	<p>* faktor koreksi ketinggian antena pada stasiun mobil di daerah urban :</p> <p>daerah kota non metropolitan</p> $a(h)_m = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - (1,56 \log f_c - 0,8)$ <p>daerah kota metropolitan</p> $a(h)_m = 8,29 (\log 1,54 h_m)^2 - 1,1 ; f_c \leq 200 \text{ MHz}$ $a(h)_m = 3,2 (\log 11,75 h_m)^2 - 4,97 ; f_c \geq 400 \text{ MHz}$	
daerah suburban	$L_{ps} = L_p (\text{perkotaan}) - 2 (\log (f_c / 26))^2 - 5,4 (dB)$	
daerah terbuka	$L_{po} = L_p (\text{perkotaan}) - 4,78 (\log f_c)^2$ $+ 18,33 \log f_c - 40,94 (dB)$	

dimana : f_c = frekwensi ; 150 MHz - 1500 MHz
 h_b = tinggi antena stasion tetap ; 30 m - 200 m
 h_m = tinggi antena stasion mobil ; 1 m - 10 m
 R = jarak pemancar - penerima ; 1 km - 20 km

⁴²⁾ M. Hata, op cit, hal 324

4.4. Rumus Empiris Daya Penerimaan

Berdasarkan pembahasan diatas maka rumus empiris daya penerimaan pada persamaan (2-11) dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_r = P_t + g_t + g_r + L_x + K_{ter} + K_{sp} + K_{ls} \quad (4-25)$$

dimana :

P_r = daya penerima (MS)

P_t = daya pemancar (BS)

g_r = gain antenna penerima (MS)

g_t = gain antenna pemancar (BS)

L_x = redaman propagasi, diperoleh dari tabel 4-3
(L_p untuk urban, L_{ps} untuk sub urban, dan L_{po} untuk daerah terbuka)

K_{ter} = faktor koreksi pada daratan berbukit, dapat diperoleh pada gambar 4-11

K_{sp} = faktor koreksi pada dataran yang miring, dapat diperoleh pada gambar 4-12

K_{ls} = faktor koreksi pada lingkungan darat - laut, dapat diperoleh pada gambar 4-13

Rumus empiris daya dan redaman propagasi gelombang radio yang diperoleh ini, kemudian akan digunakan untuk membandingkan sistem-sistem STKB Cellular pada bab V berikut ini.

B A B V

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PROPAGASI GELOMBANG RADIO PADA BEBERAPA SISTEM STKB CELLULAR

5.1. U M U M

Setelah diketahui karakteristik propagasi gelombang radio pada sistem STKB Cellular. Maka dapat dianalisa dan dibandingkan keandalan sistem - sistem STKB yang ada di dunia ditinjau dari aspek karakteristik propagasi gelombang radio tersebut.

Sekarang ini ada empat standard sistem STKB yang besar dan banyak digunakan di dunia ini dan yang telah mendapat pengakuan internasional. Keempat sistem itu yaitu sistem AMPS, sistem TACS, sistem NMT450, dan sistem NMT900

Pada bab ini dibahas perbandingan sistem AMPS, sistem TACS, sistem NMT450, dan sistem NMT900 yang meliputi besarnya nilai level sinyal minimum terhadap pengaruh fading dan shadowing, redaman propagasi gelombang radio pada beberapa kondisi lingkungan (urban, sub urban, terbuka) termasuk besarnya daya penerimaan.

3.2. Spesifikasi Sistem STKB Cellular di Dunia.

Secara umum sistem STKB Cellular dapat dibedakan menurut frekwensi-frekwensi kerjanya yaitu 450 MHz atau 800 MHz. Juga dapat dibedakan dari penentuan spasi diantara kanal-kanalnya (channal spacing) : 30, 25, atau 20 kHz⁴³⁾.

Karena itu dalam perbandingan sistem STKB Cellular ini kedua faktor tersebut yang menentukan keandalan sistem.

Sistem NMT (Nordic Mobile Telephone) ini dikembangkan oleh negara-negara Skandinavia seperti Denmark, Norwegia, Swedia, Finlandia. Sistem NMT mempunyai dua standard yaitu standard sistem NMT450 yang dipakai secara meluas mulai tahun 1981, dan standard sistem NMT900 yang pertama kali digunakan pada akhir tahun 1986. Standard sistem NMT900 dikeluarkan untuk memenuhi permintaan STKB Cellular yang lebih besar dari pada yang diperkirakan sebelumnya ketika merancang standard NMT450.

Sistem AMPS (Advance Mobile Phone Service) dikembangkan oleh negara Amerika Serikat, sistem ini dioperasikan menurut standard EIA (Electronic Industries Association) dengan lisensi dari Federal Communication Commission (FCC), dan digunakan sejak tahun 1983.

⁴³⁾ William C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunication Systems", McGraw Hill Book Company, New York, 1989, hal 91

Sistem TACS dikembangkan oleh negara Inggris. Standard dari sistem TACS juga didasarkan pada spesifikasi EIA, tetapi meliputi beberapa perubahan yang diusulkan oleh British Departement of Trade and Industry. Sistem ini dioperasikan pada awal 1985.

Empat standard sistem STKB Cellular itu yang sekarang banyak dipakai di dunia. Secara umum spesifikasi keempat standard tersebut dapat dilihat pada tabel 5-1.

Tabel 5-1⁴⁴⁾

Spesifikasi sistem STKB Cellular di dunia.

	AMPS	TACS	NMT450	NMT900
Frekwensi transmisi(MHz):				
stasion tetap	870 - 890	935 - 960	463 - 467,5	935 - 960
stasion mobil	825 - 845	890 - 915	453 - 457,5	890 - 915
spasi antar kanal	30 (kHz)	25 (kHz)	25 (kHz)	25 (kHz)
banyaknya kanal	666	1000	180	1000/1999
kanal kontrol	21	21	variabel	variabel
jarak duplex	45 (MHz)	45 (MHz)	10 (MHz)	45 (MHz)
sinyal suara:				
tipe modulasi	FM	FM	FM	FM
frekwensi deviasi	12 (kHz)	9,5 (kHz)	4,7 (kHz)	4,7 (kHz)
sinyal kontrol:				
tipe modulasi	FSK	FSK	FSK	FSK
frekwensi deviasi	8 (kHz)	6,4 (kHz)	3,5 (kHz)	3,5 (kHz)
data rate (kb/s)	10	8	1,2	1,2

⁴⁴⁾ ibid, hal 95

Sistem AMPS mempunyai 666 kanal pada band 2 x 20 MHz, TACS mempunyai 1000 kanal pada band 2 x 25 MHz, sedangkan NMT450 mempunyai 180 kanal pada band 2 x 4,5 MHz dan NMT900 mempunyai 1000/1999 kanal pada band 2 x 25 MHz.

Pada sistem modulasi FM, bandwidth yang diperlukan diberikan oleh hukum Carson yang menyatakan bahwa 98% dari tenaga didalam side bands dipancarkan jika bandwidth sistem itu sedemikian rupa sehingga :

$$B = 2 (\Delta f + f_m)$$

dimana : B = Bandwidth

Δf = deviasi maksimum

f_m = frekwensi pemodulasi maksimum

Sehingga untuk ketiga sistem itu bandwidth dapat dicari seperti yang ditunjukkan dalam tabel 5-2 dibawah ini.

Tabel 5-2
Bandwidth Sistem

Sistem	Bandwidth (B)	Spasi Kanal
NMT450/NMT900	15,4	25
TACS	25	25
AMPS	30	30

Dari tabel dapat diketahui bahwa hanya sistem NMT mempunyai batas yang jauh diantara spasi kanal dengan bandwidth yang diperlukan. Ini berarti bahwa gangguan kanal yang berdekatan merupakan problem yang penting untuk sistem AMPS dan TACS. Sedangkan dalam sistem NMT, kanal yang berdekatan dapat dipakai dalam sel yang sama ataupun sel yang berdekatan. Hal ini sangat berharga khususnya dalam daerah dengan trafik yang tinggi.

5.3. ANALISA SISTEM AMPS

Pada analisa sistem AMPS dihitung tanggapan sistem terhadap karakteristik propagasi gelombang radio yang dialami sistem STKB cellular. Dengan menggunakan hasil pembahasan dari bab sebelumnya maka dapat diperoleh harga yang diinginkan. Adapun perhitungan yang dilakukan pada suatu base stasion dengan standard sistem AMPS yang mempunyai data parameter sebagai berikut :

1. Sistem modulasi yang digunakan adalah sistem FM dengan spasi antar kanal 30 kHz, $\Delta f = 12$ kHz dan $f_m = 3$ kHz.
2. Frekwensi pembawa yang digunakan adalah 870 MHZ.

Dimana frekwensi pembawa ini adalah frekwensi pembawa kanal transmit base station nomer 1. Hal ini dilakukan dengan anggapan kanal yang dipakai pertama kali kanal nomer 1, dan juga karena frekwensi ini berada di tengah

bandwidth frekwensi transmisi yang dipakai sehingga nilai yang diperoleh diharapkan merupakan nilai rata-rata untuk semua kanal. Juga untuk memudahkan dalam perbandingan ini.

3. Carrier to noise ratio (CNR) threshold untuk sistem FM = 10 dB. Hal ini disebabkan oleh capture effect pada sistem modulasi FM, yakni tertutupnya sinyal oleh noise apabila nilai C/N di bawah 10 dB.
4. Faktor derau (F) peralatan 9 dB.
5. Noise thermal kTB, yang besarnya dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$kTB \text{ (dBm)} = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B + 30$$

dimana : $k = 1,38062 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; konstanta Boltzman

$T = 290^{\circ}\text{K}$; temperatur standard

$B = 2(\Delta f + f_m) = 30 \text{ kHz}$; bandwidth per kanal

Sehingga noise thermal kTB = -129,2 dBm

5.3.1. Perhitungan Level Sinyal Minimum

Perhitungan yang dilakukan disini adalah menghitung keandalan sistem terhadap fading dan shadowing yang diinginkan (disyaratkan).

Nilai threshold peralatan penerima diperoleh sebagai berikut :

$$n_R \text{ (dBm)} = \text{CNR} + F + kTB$$

dimana :

n_R = nilai treshold peralatan penerima

CNR = carrier to noise threshold FM = 10 dB

F = faktor derau

kTB = noise thermal

Dengan memasukkan data-data parameter sistem AMPS diperoleh nilai threshold peralatan penerima :

$$\begin{aligned} n_R &= 10 + 9 - 129,2 \\ &= -110,2 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Level sinyal penerimaan dengan nilai threshold (ambang) sebesar itu masih belum memperhitungkan pengaruh fading dan shadowing. Maka perlu ditambahkan cadangan fading dan shadowing yang besarnya tergantung keandalan sistem yang diinginkan. Untuk mendapatkan keandalan sebesar 90% terhadap fading maka perlu ditambahkan cadangan fading, yang besarnya dapat diperoleh dari perhitungan dibawah ini (lihat bab 2.3.1.2) :

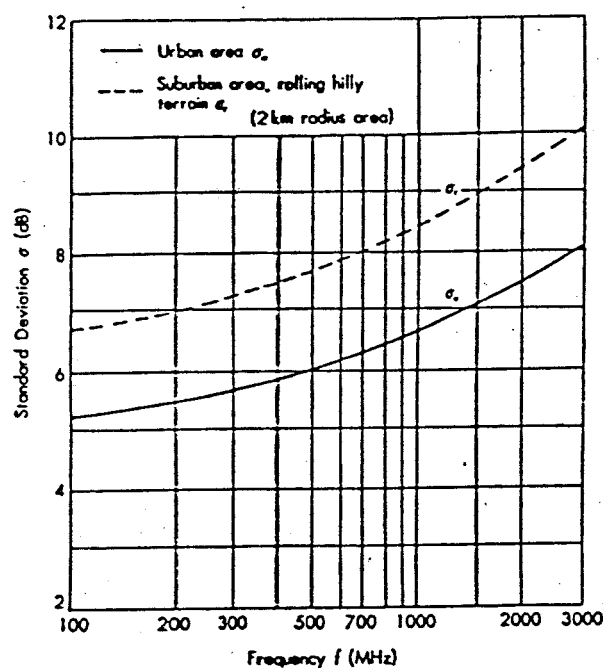
$$\begin{aligned} P(s \geq x_0) &= e^{-\pi x_0^2 / 4 \bar{s}^2} \\ 0,9 &= e^{-\pi x_0^2 / 4 \bar{s}^2} \\ x_0 / \bar{s} &= \sqrt{\frac{-4 \ln 0,9}{\pi}} = 0,3663 \\ x_0(\text{dB}) - \bar{s}(\text{dB}) &= 20 \log 0,3663 = -8,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Besarnya level sinyal penerimaan minimum sekarang adalah $n_R = x_0 = -101,5 \text{ dBm}$. Tetapi nilai ini masih memperhitungkan terhadap fading saja, padahal sinyal penerimaan selain menderita fading juga menderita shadowing. Maka nilai ambang sinyal penerimaan diatas

perlu dinaikkan dengan menambah cadangan shadowing

Untuk menentukan besarnya cadangan shadowing, perlu diketahui besarnya variasi shadowing yang terdistribusi log-normal, yang dinyatakan dengan standard deviasinya (diperoleh dari percobaan Okumura).

Pada sistem AMPS untuk base stasion yang melayani daerah urban, dengan mengambil nilai f_c dari kanal transmit nomer 1 pada base stasion yaitu $f_c = 870$ MHz memiliki nilai prediksi standard deviasi sebesar 6,5 dB (diperoleh dari kurva pada gambar 5-1 dibawah ini)



Gambar 4-1⁴⁵⁾

Prediksi nilai standard deviasi

⁴⁵⁾ Y. Okumura and Others, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service", Rev Elec. Com, Vol 16, 1968

Bila keandalan sistem terhadap shadowing yang diharapkan sebesar 90%, maka dengan menggunakan persamaan (2-28), diperoleh :

$$0,9 = 0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left[\left| \frac{-101,5 - m_d}{6,5 \sqrt{2}} \right| \right]$$

nilai median m_d harus lebih besar dari -101,5 dBm. Dengan menggunakan tabel error function, diperoleh besarnya cadangan shadowing yang harus ditambahkan yaitu :

$$|-101,5 - m_d| = 8,33 \text{ dB}$$

Dan nilai ambang median sinyal penerimaan :

$$m_d = -93,17 \text{ dBm}$$

Jadi level sinyal penerimaan minimum yang diperlukan dengan keandalan 90% terhadap fading dan 90% terhadap shadowing adalah :

$$n_R = m_d = -93,17 \text{ dBm.}$$

Untuk mengetahui besarnya level sinyal penerimaan minimum dengan bermacam-macam tingkat keandalan pada daerah urban dan sub urban dapat dilihat pada tabel 5-3 dan tabel 5-4. Dengan menganggap level sinyal threshold untuk daerah terbuka (open) sama dengan daerah sub urban.⁴⁶⁾

⁴⁶⁾ Douglas O. Reudink, "properties of Mobile Radio Propagation Above 400 MHz", IEEE Trans on Vehicular Tech, Vol VT-23, Nov 1974

Tabel 5-3

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem AMPS
Pada Daerah Urban.

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)	x_o (dBm)	Cadangan Shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-101,5	8,33	-93,17
99,00	18,9	-91,3	15,11	-76,19
99,90	28,9	-81,3	20,09	-61,21
99,99	39,0	-71,2	24,18	-47,02

Tabel 5-4

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem AMPS
Pada Daerah Sub Urban.

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)	x_o (dBm)	Cadangan Shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-101,5	10,63	-90,57
99,00	18,9	-91,3	19,3	-72
99,90	28,9	-81,3	25,64	-55,66
99,99	39,0	-71,2	30,87	-40,83

dimana : x_o = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading saja

m_d = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading dan shadowing

5.3.2. Perhitungan Redaman Propagasi

Redaman propagasi gelombang radio dihitung berdasarkan rumus empiris redaman propagasi dari Hata. Besar redaman yang terjadi akan menentukan daya penerimaan dan daerah yang dicakup (coverage area) dalam perencanaan suatu sel.

Pada pembahasan ini akan dihitung besarnya redaman propagasi yang terjadi pada daerah urban, sub urban, dan terbuka dengan jarak (radius) sel tertentu.

Bila parameter peralatan yang akan dihitung yaitu :

- radius sel, $R = 6$ km
- frekwensi pembawa, $f_c = 870$ MHz
- tinggi efektif antena base station, $h_b = 50$ m
- tinggi antena mobil station, $h_m = 2$ m

Dengan menggunakan persamaan dari tabel 4-3, besarnya redaman propagasi gelombang radio adalah :

Daerah urban (kota sedang) :

$$L_p(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h)_m \\ + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R$$

dimana :

$$a(h)_m = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

Daerah sub urban :

$$L_{ps} = L_p \{urban\} - 2 \{ \log (f_c/28)^2 \} - 5,4$$

Daerah terbuka :

$$L_{po} = L_p \{urban\} - 4,78 (\log f_c)^2 \\ + 18,33 \log f_c - 40,94$$

Dengan memasukkan $f_c = 870$ MHz, $h_b = 50$ m, $h_m = 2$ m, $R = 6$ km pada persamaan diatas, maka diperoleh redaman propagasi pada sistem AMPS yaitu :

$$L_p = 147,97 \text{ dB} \quad (\text{urban})$$

$$L_{ps} = 138,11 \text{ dB} \quad (\text{sub urban})$$

$$L_{po} = 119,64 \text{ dB} \quad (\text{terbuka})$$

5.3.3. Perhitungan Daya Penerimaan

Dari hasil yang diperoleh dari perhitungan redaman propagasi, maka besar daya (level sinyal) penerimaan dapat diketahui. Dengan menggunakan persamaan (4-25) yaitu:

$$P_r = P_t + g_t + g_r + L_x + K_{ter} + K_{sp} + K_{ls}$$

Dan parameter yang diketahui yaitu :

- Daya pemancar, $P_t = 10$ watt (40 dBm)
- gain antenna pemancar (BS), $g_t = 10$ dB
- gain antenna penerima (MS), $g_r = 2$ dB
- redaman propagasi, $L_x = L_p = 147,97$ dB (urban)
 - $L_x = L_{ps} = 138,11$ dB (suburban)
 - $L_x = L_{po} = 87$ dB (terbuka)
- faktor koreksi $\Delta h = 25$ m, $K_{ter} = -1$ dB
- faktor koreksi $\theta_m = -0,25^\circ$, $K_{sp} = -2$ dB
- faktor koreksi $\beta = 0$, $K_{ls} = 0$

Maka, dengan memasukkan pada persamaan diatas diperoleh :

Daerah urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 147,97 - 1 - 2 + 0$$

$$= -98,97 \text{ dBm}$$

Daerah sub urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 138,11 - 1 - 2 + 0$$

$$= -89,11 \text{ dBm}$$

Daerah terbuka

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 119,64 - 1 - 2 + 0$$

$$= -70,64 \text{ dBm}$$

5.4. ANALISA SISTEM TACS.

Dengan cara yang sama, dilakukan juga analisa pada sistem TACS yaitu dengan menghitung tanggapan sistem ditinjau dari aspek karakteristik propagasi gelombang radio yang dialami sistem STKB cellular. Dengan menggunakan hasil pembahasan dari bab sebelumnya maka dapat diperoleh harga yang diinginkan.

Adapun perhitungan yang dilakukan adalah pada suatu base stasion dengan standard sistem TACS yang mempunyai data parameter sebagai berikut :

1. Sistem modulasi yang digunakan adalah sistem FM dengan spasi antar kanal 25 kHz, $\Delta f = 9,5$ kHz dan $f_m = 3$ kHz.
2. Frekwensi pembawa yang digunakan adalah 935 MHZ. Frekwensi ini juga frekwensi pembawa kanal transmit base station nomer 1. Dengan asumsi yang sama pada pembahasan sistem AMPS.
3. Carrier to noise ratio (CNR) threshold untuk sistem FM = 10 dB.
4. Faktor derau (F) peralatan 9 dB.
5. Noise thermal kTB, yang dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$kTB \text{ (dBm)} = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B + 30$$

dimana : $k = 1,38062 \times 10^{-23}$ J/K ; konstanta Boltzman

$T = 290^{\circ}\text{K}$; temperatur standard

$B = 2(\Delta f + f_m) = 25 \text{ kHz}$; bandwidth per kanal

Sehingga diperoleh noise thermal $kTB = -130,1 \text{ dBm}$

5.4.1. Perhitungan Level Sinyal Minimum

Perhitungan yang dilakukan disini adalah menghitung keandalan sistem terhadap fading dan shadowing yang diinginkan.

Nilai threshold peralatan penerima diperoleh sebagai berikut :

$$n_R \text{ (dBm)} = \text{CNR} + F + kTB$$

dimana :

n_R = nilai treshold peralatan penerima

CNR = carier to noise thershold FM = 10 dB

F = faktor derau

kTB = noise thermal

Dengan memasukkan data-data parameter sistem NMT diperoleh nilai thershold peralatan penerima :

$$\begin{aligned} n_R &= 10 + 9 - 130,1 \\ &= -111,1 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Level sinyal penerimaan dengan nilai thershold (ambang) sebesar itu masih belum memperhitungkan pengaruh fading dan shadowing. Maka perlu ditambahkan cadangan

fading dan shadowing yang besarnya tergantung keandalan sistem yang diinginkan. Untuk mendapatkan keandalan sebesar 90% terhadap fading maka perlu ditambahkan cadangan fading, yang besarnya dapat diperoleh dari perhitungan dibawah ini (lihat bab 2.3.1.2) :

$$\begin{aligned}
 P(s \geq x_0) &= e^{-\pi x_0^2 / 4 \bar{s}^2} \\
 0,9 &= e^{-\pi x_0^2 / 4 \bar{s}^2} \\
 x_0 / \bar{s} &= \sqrt{\frac{-4 \ln 0,9}{\pi}} = 0,3663 \\
 x_0(\text{dB}) - \bar{s}(\text{dB}) &= 20 \log 0,3663 \\
 &= -8,7 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Besarnya nilai sinyal penerimaan minimum sekarang adalah $n_R = x_0 = -102,3 \text{ dBm}$. Tetapi nilai ini masih memperhitungkan terhadap fading saja, padahal sinyal penerimaan selain menderita fading juga menderita shadowing. Maka nilai ambang sinyal penerimaan diatas perlu dinaikkan dengan menambah cadangan shadowing

Untuk menentukan besarnya cadangan shadowing, perlu diketahui besarnya variasi shadowing yang terdistribusi log-normal, yang dinyatakan dengan standard deviasinya (diperoleh dari percobaan Okumura).

Pada sistem TACS untuk base stasion yang melayani daerah urban diambil nilai f_c dari kanal transmit nomer 1 pada base stasion yaitu $f_c = 935 \text{ MHz}$. Dengan menggunakan kurva pada gambar 5-1 diperoleh nilai prediksi standard deviasi (σ) sebesar 6,6 dB

Bila keandalan sistem terhadap shadowing yang diharapkan sebesar 90%, maka dengan menggunakan persamaan (2-28), diperoleh :

$$0,9 = 0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left(\left| \frac{-102,3 - m_d}{6,6 \sqrt{2}} \right| \right)$$

nilai median m_d harus lebih besar dari -102,3 dBm. Dengan menggunakan tabel error function, diperoleh besarnya cadangan shadowing yang harus ditambahkan yaitu :

$$|-102,3 - m_d| = 8,46 \text{ dB}$$

Dan nilai ambang median sinyal penerimaan :

$$m_d = -93,84 \text{ dBm}$$

Jadi level sinyal penerimaan minimum yang diperlukan dengan tingkat keandalan 90% terhadap fading dan 90% terhadap shadowing adalah :

$$n_R = m_d = -93,84 \text{ dBm. (urban)}$$

Untuk mengetahui besarnya level sinyal penerimaan minimum dengan bermacam-macam tingkat keandalan pada daerah urban dan sub urban dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Sedangkan level sinyal threshold untuk daerah terbuka (open) dianggap sama dengan daerah sub urban.

Tabel 5-5

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem TACS
Pada Daerah Urban.

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)	x_o (dBm)	Cadangan Shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-102,3	8,46	-93,84
99,00	18,9	-92,1	15,35	-76,75
99,90	28,9	-82,1	20,40	-61,7
99,99	39,0	-72	24,55	-47,45

Tabel 5-6

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem TACS
Pada Daerah Sub Urban.

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)	x_o (dBm)	Cadangan Shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-102,3	10,76	-91,54
99,00	18,9	-92,1	19,53	-72,57
99,90	28,9	-82,1	25,97	-56,13
99,99	39,0	-72	31,24	-40,76

dimana : x_o = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading saja

m_d = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading dan shadowing

5.4.2. Perhitungan Redaman Propagasi

Redaman propagasi gelombang radio dihitung berdasarkan rumus empiris redaman propagasi dari Hata. Besar redaman yang terjadi akan menentukan daya penerimaan dan daerah yang dicakup (coverage area) dalam perencanaan suatu sel.

Pada pembahasan ini akan dihitung besarnya redaman propagasi yang terjadi pada daerah urban, sub urban, dan terbuka dengan jarak (radius) sel tertentu.

Bila parameter peralatan yang akan dihitung yaitu :

- radius sel, $R = 6 \text{ km}$
- frekwensi pembawa, $f_c = 935 \text{ MHz}$
- tinggi efektif antena base station, $h_b = 50$
- tinggi antena mobil station, $h_m = 2 \text{ m}$

Dengan menggunakan persamaan dari tabel 4-3, besarnya redaman propagasi gelombang radio adalah :

Daerah urban (kota sedang) :

$$L_p(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h)_m \\ + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R$$

dimana :

$$a(h)_m = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

Daerah sub urban :

$$L_{ps} = L_p \{urban\} - 2 \{ \log (f_c/28)^2 \} - 5,4$$

Daerah terbuka :

$$L_{po} = L_p \{urban\} - 4,78 (\log f_c)^2 \\ + 18,33 \log f_c - 40,94$$

Dengan memasukkan $f_c = 935$ MHz , $h_b = 50$ m , $h_m = 2$ m, $R = 6$ km pada persamaan diatas, maka pada sistem TACS diperoleh redaman propagasi yaitu sebesar :

$$L_p = 148 \text{ dB} \quad (\text{urban})$$

$$L_s = 138,73 \text{ dB} \quad (\text{sub urban})$$

$$L_{po} = 120,1 \text{ dB} \quad (\text{terbuka})$$

5.4.3. Perhitungan Daya Penerimaan

Dari hasil yang diperoleh dari perhitungan redaman propagasi, maka besar daya penerimaan dapat diketahui. Dengan menggunakan persamaan (4-25) yaitu :

$$P_r = P_t + g_t + g_r + L_x + K_{ter} + K_{sp} + K_{ls}$$

Dan parameter yang diketahui yaitu :

- Daya pancar, $P_t = 10$ watt (40 dBm)
- gain antenna pemancar (BS), $g_t = 10$ dB
- gain antenna penerima (MS), $g_r = 2$ dB
- redaman propagasi, $L_x = L_p = 148,77$ dB (urban)
 $L_x = L_{ps} = 138,73$ dB (suburban)
 $L_x = L_{po} = 120,1$ dB (terbuka)
- faktor koreksi $\Delta h = 25$ m, $K_{ter} = -1$ dB
- faktor koreksi $\theta_m = -0,25^\circ$, $K_{sp} = -2$ dB
- faktor koreksi $\beta = 0$, $K_{ls} = 0$

Maka, dengan memasukkan pada persamaan diatas diperoleh :

Daerah urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 148,77 - 1 - 2 + 0$$

$$= -99,77 \text{ dBm}$$

Daerah sub urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 138,73 - 1 - 2 + 0$$

$$= -89,73 \text{ dBm}$$

Daerah terbuka

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 120,1 - 1 - 2 + 0$$

$$= -71,1 \text{ dBm}$$

5.5. ANALISA SISTEM NMT.

Sistem NMT juga dianalisa seperti kedua sistem lainnya, yaitu dengan menganalisa tanggapan sistem NMT ditinjau dari aspek karakteristik propagasi gelombang radio pada sistem STKB cellular. Dengan menggunakan hasil pembahasan dari bab sebelumnya maka dapat diperoleh harga yang diinginkan.

Seperti telah diketahui sistem NMT mempunyai dua standard yaitu standard NMT450 dan NMT900. Oleh karena itu akan dilakukan perhitungan pada masing-masing standard tersebut.

Adapun perhitungan ini dilakukan pada suatu base station dan mobil station dengan standard NMT450 dan NMT900. Dari tabel 5-1 dapat diketahui standard NMT450 dan NMT900 berbeda pada frekuensi transmisi dan kapasitas kanal, sehingga data-data parameter pada perhitungan ini dapat ditulis sebagai berikut :

1. Sistem modulasi yang digunakan adalah sistem FM dengan spasi antar kanal 25 kHz, $\Delta f = 4,7$ kHz dan $f_m = 3$ kHz.
2. Frekwensi pembawa yang digunakan adalah 463 MHz untuk NMT450 dan 935 MHz untuk NMT900. Frekwensi ini juga frekwensi pembawa kanal transmit base station nomer 1. Dengan asumsi yang sama pada pembahasan sistem AMPS.
3. Carrier to noise ratio (CNR) threshold untuk sistem FM = 10 dB.

4. Faktor derau (F) peralatan 9 dB.
5. Noise thermal kTB, yang besarnya dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$kTB \text{ (dBm)} = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B + 30$$

dimana : $k = 1,38062 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; konstanta Boltzman

$T = 290^{\circ}\text{K}$; temperatur standard

$B = 2(\Delta f + f_m) = 15,4$; bandwidth per kanal

Sehingga diperoleh noise thermal kTB = -132,1 dBm

5.5.1. Perhitungan Level Sinyal Minimum

5.5.1.1. Standard NMT450

Perhitungan yang dilakukan disini adalah menghitung keandalan sistem terhadap fading dan shadowing yang diinginkan.

Nilai threshold peralatan penerima diperoleh sebagai berikut :

$$n_R \text{ (dBm)} = \text{CNR} + F + kTB$$

dimana :

n_R = nilai treshold peralatan penerima

CNR = carier to noise thershold FM = 10 dB

F = faktor derau

kTB = noise thermal

Dengan memasukkan data-data parameter sistem NMT450 diperoleh nilai thershold peralatan penerima :

$$\begin{aligned} n_R &= 10 + 9 - 132,2 \\ &= -113,1 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Level sinyal penerimaan dengan nilai threshold (ambang) sebesar itu masih belum memperhitungkan pengaruh fading dan shadowing. Maka perlu ditambahkan cadangan fading dan shadowing yang besarnya tergantung keandalan sistem yang diinginkan. Untuk mendapatkan keandalan sebesar 90% terhadap fading maka perlu ditambahkan cadangan fading, yang besarnya dapat diperoleh dari perhitungan dibawah ini (lihat bab 2.3.1.2) :

$$\begin{aligned} P(s \geq x_0) &= e^{-\pi x_0^2 / 4 \bar{s}^2} \\ 0,9 &= e^{-\pi x_0^2 / 4 \bar{s}^2} \\ x_0 / \bar{s} &= \sqrt{\frac{-4 \ln 0,9}{\pi}} = 0,3663 \\ x_0(\text{dB}) - \bar{s}(\text{dB}) &= 20 \log 0,3663 = -8,7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Besarnya nilai sinyal penerimaan minimum sekarang adalah $n_R = x_0 = -104,4 \text{ dBm}$. Tetapi nilai ini masih memperhitungkan terhadap fading saja, padahal sinyal penerimaan selain menderita fading juga menderita shadowing. Maka nilai ambang sinyal penerimaan diatas perlu dinaikkan dengan menambah cadangan shadowing

Untuk menentukan besarnya cadangan shadowing, perlu diketahui besarnya variasi shadowing yang terdistribusi log-normal, yang dinyatakan dengan standard deviasinya (diperoleh dari percobaan Okumura).

Pada sistem NMT450 untuk base stasion yang melayani daerah urban diambil nilai f_c dari kanal transmit nomer 1 pada base stasion yaitu $f_c = 463$ MHz. Dengan menggunakan kurva pada gambar 5-1 diperoleh nilai prediksi standard deviasi (σ) sebesar 5,9 dB

Bila keandalan sistem terhadap shadowing yang diharapkan sebesar 90%, maka dengan menggunakan persamaan (2-28),diperoleh :

$$0,9 = 0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left[\left| \frac{-104,4 - m_d}{5,9 \sqrt{2}} \right| \right]$$

nilai median m_d harus lebih besar dari -104,4 dBm. Dengan menggunakan tabel error function, diperoleh besarnya cadangan shadowing yang harus ditambahkan yaitu :

$$|-104 - m_d| = 7,56 \text{ dB}$$

Dan nilai ambang median sinyal penerimaan :

$$m_d = -96,84 \text{ dBm}$$

Jadi level sinyal penerimaan minimum yang diperlukan dengan tingkat keandalan 90% terhadap fading dan 90% terhadap shadowing adalah :

$$n_R = m_d = -96,84 \text{ dBm. (urban)}$$

Untuk mengetahui besarnya level sinyal penerimaan minimum dengan bermacam-macam tingkat keandalan pada daerah urban dan sub urban dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Sedangkan level sinyal threshold untuk daerah terbuka (open) dianggap sama dengan daerah sub urban.

Tabel 5-7

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem NMT450
Pada Daerah Urban.

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)	x_o (dBm)	Cadangan Shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-104,4	7,56	-96,84
99,00	18,9	-94,2	13,73	-80,47
99,90	28,9	-84,2	18,24	-69,96
99,99	39,0	-74,1	21,94	-52,16

Tabel 5-8

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem NMT450
Pada Daerah Sub Urban.

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)	x_o (dBm)	Cadangan Shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-104,4	9,74	-94,66
99,00	18,9	-94,2	17,67	-76,53
99,90	28,9	-84,2	23,5	-60,7
99,99	39,0	-74,1	28,27	-45,83

dimana : x_o = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading saja

m_d = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading dan shadowing

5.5.1.2. Standard NMT900

Pada perhitungan level penerimaan minimum sistem NMT900 bila dibandingkan dengan NMT450 yaitu dengan melihat data parameter mempunyai hasil yang berbeda pada besarnya cadangan shadowing yang harus ditambahkan. Perhitungannya dapat ditunjukkan sebagai berikut :

Pada sistem NMT900 untuk base stasion yang melayani daerah *urban* diambil nilai f_c dari kanal transmit nomer 1 pada base stasion yaitu $f_c = 935$ MHz. Dengan menggunakan kurva pada gambar 5-1 diperoleh nilai prediksi standard deviasi (σ) sebesar 6,6 dB

Bila keandalan sistem terhadap shadowing yang diharapkan sebesar 90%, maka dengan menggunakan persamaan (2-28), diperoleh :

$$0,9 = 0,5 + 0,5 \operatorname{erf} \left[\left| \frac{-104,4 - m_d}{6,6 \sqrt{2}} \right| \right]$$

nilai median m_d harus lebih besar dari -104,4 dBm. Dengan menggunakan tabel error function, diperoleh besarnya cadangan shadowing yang harus ditambahkan yaitu :

$$|104 - m_d| = 8,46 \text{ dB}$$

Dan nilai ambang median sinyal penerimaan :

$$m_d = -95,94 \text{ dBm}$$

Jadi level sinyal penerimaan minimum yang diperlukan dengan tingkat keandalan 90% terhadap fading dan 90% terhadap shadowing adalah :

$$n_R = m_d = -95,94 \text{ dBm. (urban)}$$

Untuk mengetahui besarnya level sinyal penerimaan minimum dengan bermacam-macam tingkat keandalan pada daerah urban dan sub urban dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Sedangkan level sinyal threshold untuk daerah terbuka (open) dianggap sama dengan daerah sub urban.

Tabel 5-9

Level sinyal penerimaan minimum (n_R) sistem NMT900 pada daerah urban.

Keandalan sistem (%)	cadangan fading (dB)	x_o (dBm)	cadangan shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-104,4	8,46	-95,94
99,00	18,9	-94,2	15,35	-78,85
99,90	28,9	-84,2	20,40	-63,8
99,99	39,0	-74,1	24,55	-49,55

Tabel 5-10

Level sinyal penerimaan minimum (n_R) sistem NMT900
pada daerah sub urban.

Keandalan sistem (%)	cadangan fading (dB)	x_o (dBm)	cadangan shadowing (dB)	m_d (dBm)
90,00	8,7	-104,4	10,76	-93,64
99,00	18,9	-94,2	19,53	-74,67
99,90	28,9	-84,2	25,97	-58,23
99,99	39,0	-74,1	31,24	-42,86

dimana : x_o = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading saja

m_d = level sinyal penerimaan minimum (n_R)
terhadap fading dan shadowing

5.5.2. Perhitungan Redaman Propagasi

Redaman propagasi gelombang radio dihitung berdasarkan rumus empiris redaman propagasi dari Hata. Besar redaman yang terjadi akan menentukan daya penerimaan dan daerah yang dicakup (coverage area) dalam perencanaan suatu sel.

Pada pembahasan ini akan dihitung besarnya redaman propagasi yang terjadi pada daerah urban, sub urban, dan

terbuka dengan jarak (radius) sel tertentu.

Bila parameter peralatan yang akan dihitung yaitu :

- radius sel, $R = 6 \text{ km}$
- frekwensi pembawa, $f_c = 463 \text{ MHz}$ untuk NMT450
 $f_c = 935 \text{ MHz}$ untuk NMT900
- tinggi efektif antena base station, $h_b = 50 \text{ m}$
- tinggi antena mobil station, $h_m = 2 \text{ m}$

Dengan menggunakan persamaan dari tabel 4-3, dimana besarnya redaman propagasi gelombang radio adalah :

Daerah urban (kota sedang) :

$$L_p(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h)_m \\ + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R$$

dimana :

$$a(h)_m = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

Daerah sub urban :

$$L_{ps} = L_p \{\text{urban}\} - 2 \{ \log (f_c/28)^2 \} - 5,4$$

Daerah terbuka :

$$L_{po} = L_p \{\text{urban}\} - 4,78 (\log f_c)^2 \\ + 18,33 \log f_c - 40,94$$

5.5.2.1. Standard NMT450

Dengan memasukkan $f_c = 463$ MHz , $h_b = 50$ m , $h_m = 2$ m , $R = 6$ km pada persamaan diatas, maka pada sistem NMT450 diperoleh redaman propagasi yaitu sebesar :

$$L_p = 140,78 \text{ dB} \quad (\text{urban})$$

$$L_{ps} = 132,41 \text{ dB} \quad (\text{sub urban})$$

$$L_{po} = 114,74 \text{ dB} \quad (\text{terbuka})$$

5.5.2.2. Standard NMT900

Dengan memasukkan $f_c = 935$ MHz , $h_b = 50$ m , $h_m = 2$ m , $R = 6$ km pada persamaan diatas, maka pada sistem NMT900 diperoleh redaman propagasi yaitu sebesar :

$$L_p = 148 \text{ dB} \quad (\text{urban})$$

$$L_s = 138,73 \text{ dB} \quad (\text{sub urban})$$

$$L_{po} = 120,1 \text{ dB} \quad (\text{terbuka})$$

5.5.3. Perhitungan Daya Penerimaan

Dari hasil yang diperoleh dari perhitungan redaman propagasi, maka besar daya penerimaan dapat diketahui. Dengan menggunakan persamaan (4-25) yaitu :

$$P_r = P_t + g_t + g_r + L_x + K_{ter} + K_{sp} + K_{ls}$$

5.5.3.1. Standard NMT450

Dengan menggunakan data parameter yang diketahui yaitu :

- Daya pancar, $P_t = 10$ watt (40 dBm)
- gain antenna pemancar (BS), $g_t = 10$ dB
- gain antenna penerima (MS), $g_r = 2$ dB
- redaman propagasi, $L_x = L_p = 140,78$ dB (urban)
 $L_x = L_{ps} = 132,41$ dB (suburban)
 $L_x = L_{po} = 114,74$ dB (terbuka)
- faktor koreksi $\Delta h = 25$ m, $K_{ter} = -1$ dB
- faktor koreksi $\theta_m = -0,25^\circ$, $K_{sp} = -2$ dB
- faktor koreksi $\beta = 0$, $K_{ts} = 0$

Maka, dengan memasukkan pada persamaan diatas diperoleh :

Daerah urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 140,78 - 1 - 2 + 0$$

$$= -91,78 \text{ dBm}$$

Daerah sub urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 138,11 - 1 - 2 + 0$$

$$= -83,41 \text{ dBm}$$

Daerah terbuka

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 87 - 1 - 2 + 0$$

$$= -65,74 \text{ dBm}$$

5.5.3.2. Standard NMT900

Dengan menggunakan data parameter yang diketahui yaitu :

- Daya pancar, $P_t = 10$ watt (40 dBm)
- gain antenna pemancar (BS), $g_t = 10$ dB
- gain antenna penerima (MS), $g_r = 2$ dB
- redaman propagasi, $L_x = L_p = 148,77$ dB (urban)
 $L_x = L_{ps} = 138,73$ dB (suburban)
 $L_x = L_{po} = 120,1$ dB (terbuka)
- faktor koreksi $\Delta h = 25$ m, $K_{ter} = -1$ dB
- faktor koreksi $\theta_m = -0,25^\circ$, $K_{sp} = -2$ dB
- faktor koreksi $\beta = 0$, $K_{ts} = 0$

Maka, dengan memasukkan pada persamaan diatas diperoleh :

Daerah urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 148,77 - 1 - 2 + 0$$

$$= -99,77 \text{ dBm}$$

Daerah sub urban

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 138,73 - 1 - 2 + 0$$

$$= -89,73 \text{ dBm}$$

Daerah terbuka

$$P_r = 40 + 10 + 2 - 120,1 - 1 - 2 + 0$$

$$= -71,1 \text{ dBm}$$

5.6. PERBANDINGAN

Dari analisa ketiga sistem STKB tersebut maka dapat dibuat perbandingannya, yang ditinjau dari aspek propagasi gelombang radio pada sistem STKB Cellular. Dan juga dilihat pula pengaruhnya pada daerah urban, daerah sub urban dan daerah terbuka. Hasil analisa dan perhitungan tersebut kemudian ditulis dalam bentuk tabel sehingga dapat dibuat suatu kesimpulan seperti yang diperlihatkan pada sub bab berikut ini.

5.6.1. Level Sinyal Penerimaan Minimum Terhadap fading dan Shadowing

Level sinyal penerimaan minimum pada masing-masing sistem STKB dengan tingkat keandalan yang berbeda beda terhadap fading dan shadowing ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Dari analisa pada semua sistem besarnya cadangan fading yang harus ditambahkan sama, sedangkan besarnya cadangan shadowing yang harus ditambahkan tidak sama tergantung dari frekwensi yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 5-11 ,5-12 dan 5-13.

Tabel 5-11

Nilai Cadangan Fading (dB) Yang Harus Ditambahkan
Oleh Semua Sistem Pada Daerah Urban dan Sub Urban

Keandalan Sistem (%)	Cadangan Fading (dB)
90,00	8,7
99,00	18,9
99,90	28,9
99,99	39,0

Tabel 5-12

Nilai Cadangan Shadowing (dB) Yang Harus Ditambahkan
Oleh Semua Sistem Pada Daerah Urban

Keandalan Sistem	AMPS	TACS	NMT450	NMT900
90,00 %	8,33	8,46	10,76	8,46
99,00 %	15,11	15,35	19,53	19,53
99,90 %	20,09	20,40	25,97	25,97
99,99 %	24,18	24,55	31,24	31,24

Tabel 5-13

Nilai Cadangan Shadowing (dB) Yang Harus Ditambahkan
Oleh Semua Sistem Pada Daerah Sub Urban

Keandalan Sistem	AMPS	TACS	NMT450	NMT900
90,00 %	10,63	10,76	9,74	10,76
99,00 %	19,3	19,53	17,67	19,53
99,90 %	25,64	25,97	23,5	25,97
99,99 %	30,87	31,24	28,27	31,24

Dari tabel 5-12 dan 5-13 dapat diketahui bahwa sistem AMPS untuk sistem yang menggunakan band frekuensi 800 MHz mempunyai keandalan yang lebih baik terhadap fading dan shadowing. Dan dengan semakin tinggi keandalan sistem yang diinginkan semakin besar pula cadangan fading dan shadowing yang harus ditambahkan.

Sebagai contoh, pada sistem AMPS di daerah urban, untuk memperoleh keandalan sistem terhadap shadowing sebesar 10% diperlukan cadangan sebesar 8,33 dB yang harus ditambahkan kedalam sistem.

Tabel 5-14

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem
Terhadap Fading dan Shadowing Pada Daerah Urban

Keandalan Sistem dg Fading & Shadowing	n_R (dBm)			
	AMPS	TACS	NMT450	NMT900
90,00 %	-93,17	-93,84	-96,84	-95,94
99,00 %	-76,19	-76,75	-80,47	-78,85
99,90 %	-61,21	-61,7	-69,96	-63,8
99,99 %	-47,02	-47,45	-52,16	-49,55

Tabel 5-15

Level Sinyal Penerimaan Minimum (n_R) Sistem
Terhadap Fading dan Shadowing Pada Daerah Sub Urban

Keandalan sistem dg fading & Shadowing	n_R (dBm)			
	AMPS	TACS	NMT450	NMT900
90,00 %	-90,57	-91,54	-94,66	-93,64
99,00 %	-72	-72,57	-76,53	-74,67
99,90 %	-55,66	-56,13	-60,7	-58,23
99,99 %	-40,45	-40,76	-45,83	-42,86

Tabel 5-14 dan 5-15 menunjukkan besarnya level
sinyal penerimaan minimum (n_R) dengan tingkat keandalan

berbeda - beda terhadap fading dan shadowing.

Dari tabel 5-14 dan 5-15 dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Dengan semakin tinggi keandalan sistem terhadap fading dan shadowing yang disyaratkan semakin tinggi pula level sinyal penerimaan minimum yang disyaratkan.
2. Pada sistem yang menggunakan band frekuensi 800 MHZ, sistem NMT900 mempunyai level sinyal penerimaan minimum yang lebih baik dibandingkan sistem AMPS dan sistem TACS meskipun frekwensi yang digunakan lebih tinggi. Hal ini disebabkan deviasi frekuensinya lebih rendah. Tetapi keuntungannya sistem AMPS mempunyai S/N yang lebih baik pada daerah diatas nilai ambang (thershold) dengan besarnya deviasi frekuensi. Dengan kata lain level sinyal penerimaan sistem AMPS akan jatuh lebih dulu pada daerah ambang dibandingkan sistem lainnya.
3. Sistem NMT450 mempunyai level sinyal penerimaan yang lebih baik dibandingkan sistem lainnya, karena sistem ini menggunakan band frekuensi 450 MHZ.
4. Peninjauan sinyal penerimaan ini dilakukan pada nilai thershold FM, dimana kualitas sinyal tersebut merupakan kualitas terburuk yang dapat diterima oleh pesawat penerima (stasiun mobil). Tetapi dalam prakteknya kualitas sinyal yang cukup baik untuk berkomunikasi adalah sekitar $S/N = 30 \text{ dB}$, hal ini dapat dilakukan

dengan memberikan rangkaian perbaikan. Pada sistem yang menggunakan modulasi FM biasanya ditambahkan rangkaian preemphasis-deemphasis dan compador.

5. Jika pada perencanaan sel, level sinyal penerimaan minimum digunakan sebagai syarat batas sel daerah pelayanan base stasion maka dapat dikatakan, bilamobil stasion bergerak mendekati base stasion akan mempunyai keandalan terhadap fading dan shadowing yang semakin tinggi.

5.6.2. Daya Penerimaan dan Redaman Propagasi Gelombang Radio

Dari analisa pada masing-masing sistem maka dapat dibuat perbandingan terhadap besarnya daya penerimaan dan redaman propagasi gelombang radio yang diperoleh.

Dimana analisa perhitungan yang telah dilakukan pada masing-masing sistem STKB itu, adalah dengan memisalkan stasiun tetap (base stasion) dan stasiun mobil (mobil stasion) yang mempunyai keadaan dan tempat kedudukan dengan parameter seperti yang ditunjukkan pada tabel 5-16

Tabel 5-16

Parameter Base Station dan Mobil Stasion

(1)	Daya pemancar (P_t)	40 dBm
(2)	Gain antena Pemancar (g_t)	10 dB
(3)	Gain antena penerima (g_r)	2 dB
(4)	Tinggi antena pemancar (h_b)	50 m
(5)	Tinggi antena penerima (h_m)	2 m
(6)	Tinggi undulasi $\Delta h = 25$ m, (K_{ter})	-1 dB
(7)	Kemiringan $\theta_m = -0,25^\circ$, (K_{sp})	-2 dB

Dengan menggunakan spesifikasi standard dari masing-masing sistem seperti pada tabel 5-1. Maka hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5-17.

Tabel 5-17

Redaman Propagasi dan Daya Penerimaan Sistem
Pada Daerah Urban, Sub Urban, dan Terbuka

SISTEM	Urban		Sub urban		Terbuka	
	L_p (dB)	P_r (dBm)	L_{ps} (dB)	P_r (dBm)	L_{po} (dB)	P_r (dBm)
AMPS	147,97	-98,97	138,11	-89,11	119,64	-70,64
TACS	148	-99,77	138,73	-89,73	120,1	-71,1
NMT450	140,78	-91,78	132,41	-83,41	114,74	-65,74
NMT900	148	-99,77	138,73	-89,73	120,1	-71,1

Dari tabel 5-17 dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Pada sistem yang menggunakan band frekuensi 800 MHz, sistem AMPS mempunyai redaman propagasi yang lebih rendah dan daya penerimaan yang lebih besar dibandingkan kedua sistem lainnya. Sedangkan sistem NMT450 mempunyai harga yang lebih baik lagi. Hal ini disebabkan sistem NMT450 bekerja pada band frekwensi 450 MHz. Dimana redaman propagasi semakin besar dengan semakin tinggi frekwensi yang digunakan.
2. Redaman propagasi pada daerah urban lebih besar daripada daerah sub urban dan daerah terbuka. Hal ini disebabkan pada daerah urban (perkotaan) mempunyai halangan yang besar yang berupa bangunan bertingkat, rumah-rumah dan sebagainya.
3. Hasil dari pembahasan karakteristik propagasi gelombang radio ini dapat digunakan sebagai studi awal perencanaan jaringan cellular yaitu memprediksi (meramalkan) daerah cakupan, dengan menganggap level sinyal penerimaan minimum sebagai batas sel. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur jarak (R) atau daya pemancar (P_t) mendekati level sinyal minimum yang disyaratkan sehingga akan diketahui daya pemancar (P_t) yang dibutuhkan maupun jarak (R) daerah cakupannya (coverage area).

B A B VI

K E S I M P U L A N

6.1. KESIMPULAN

Dari pembahasan mengenai studi perbandingan karakteristik propagasi gelombang radio pada beberapa sistem STKB Cellular maka dapat diambil kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Pada sistem komunikasi STKB Cellular dalam menghitung besarnya daya penerimaan propagasi gelombang radio, harus memperhitungkan pengaruh gelombang pantul sehingga daya penerimaan mempunyai hubungan bahwa daya penerimaan hampir berbanding terbalik dengan jarak pangkat empat antara pemancar-penerima.
2. Hubungan antara daya penerima dengan jarak pemancar-penerima dinyatakan dengan $P_r = k d^{-n}$ dimana k merupakan tetapan yang bergantung dengan daya pancar, penguatan antena pemancar, penguatan antena penerima, tinggi antena pemancar dan antena penerima sedangkan nilai n dapat diperoleh dari percobaan.

3. Redaman propagasi gelombang radio tergantung dari frekwensi yang digunakan dan bentuk dataran serta kondisi daerah itu (urban, sub urban, terbuka).
4. Fading dan shadowing mempunyai pengaruh yang cukup besar pada komunikasi STKB dimana sinyal yang diterima stasiun mobil pada suatu titik tertentu berubah-ubah terhadap nilai rata-ratanya karena fading. Sedangkan nilai rata-rata sinyal berubah-ubah dari titik yang satu ke titik yang lain karena shadowing. Pengaruh shadowing bertambah dengan kenaikan frekwensi yang ditandai dengan naiknya standard deviasi.
5. Fading dan shadowing juga menentukan level sinyal penerimaan minimum yang disyaratkan. Dari perhitungan untuk keandalan sistem 90% terhadap fading dan shadowing pada daerah urban diperoleh :

Sistem AMPS memerlukan cadangan fading 8,7 dB dan cadangan shadowing 10,63 dB sedangkan level sinyal penerimaan minimum -93,17 dBm. Sistem TACS memerlukan cadangan fading 8,7 dB dan cadangan shadowing 10,76 dB serta level penerimaan minimum -93,84 dBm. Sistem NMT450 memerlukan cadangan fading 8,7 dB dan cadangan shadowing 9,74 dB serta level penerimaan minimum -96,85 dBm. Sistem NMT900 memerlukan cadangan fading 8,7 dB dan cadangan shadowing 10,76 dB serta level penerimaan minimum -95,94 dBm.

6. Pada sistem yang menggunakan band frekuensi 800 MHz, sistem NMT900 mempunyai level sinyal penerimaan minimum yang lebih baik dibandingkan sistem AMPS dan sistem TACS meskipun frekwensi yang digunakan lebih tinggi. Hal ini disebabkan deviasi frekuensinya lebih rendah. Tetapi sistem AMPS mempunyai keandalan yang lebih baik terhadap shadowing dan juga mempunyai S/N yang lebih baik pada daerah diatas nilai ambang (thershold) karena besarnya deviasi frekuensi. Dengan kata lain level sinyal penerimaan sistem AMPS akan jatuh lebih dulu pada daerah ambang dibandingkan sistem lainnya.
7. Dari perhitungan redaman propagasi daerah urban pada jarak 6 km dengan ketinggian antenna $h_b = 50$ m dan $h_m = 2$ m maka diperoleh redaman propagasi (L_p) untuk : sistem AMPS sebesar 147,97 dB, sistem TACS sebesar 148 dB, sistem NMT450 sebesar 140,78 dB, dan sistem NMT900 sebesar 148 dB. Sedangkan perhitungan daya penerimaannya dengan gain antenna $g_t = 10$ dB dan $g_r = 2$ dB, dan faktor koreksi $K_{ter} = -1$ dB dan $K_{sp} = -2$ dB diperoleh daya penerimaan (P_r) untuk : sistem AMPS sebesar -98,97 dBm, sistem TACS sebesar -99,77 dBm, sistem NMT450 sebesar -91,78 dBm, dan NMT900 sebesar -99,77 dBm. Dari perhitungan tersebut ternyata sistem AMPS redaman propagasi dan daya penerimaan yang lebih baik dibandingkan sistem TACS dan NMT900. Sistem TACS

- dan sistem NMT900 mempunyai harga yang sama karena menggunakan frekuensi transmisi yang sama.
8. Sistem NMT450 mempunyai harga-harga yang lebih baik dibandingkan sistem lainnya, karena sistem ini menggunakan band frekuensi 450 MHz.
 9. Dari analisa dan perbandingan pada beberapa sistem STKB Cellular yang ditinjau dari aspek propagasi gelombang radio, ternyata frekuensi yang digunakan menentukan besarnya pengaruh fading dan shadowing, redaman propagasi dan daya penerimaan.
 10. Hasil dari pembahasan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai studi awal perencanaan jaringan cellular yaitu memprediksi (meramalkan) daerah cakupan, dengan menganggap level sinyal penerimaan minimum sebagai batas sel. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur jarak (R) atau daya pemancar (P_t) mendekati level sinyal minimum sehingga akan diketahui daya pemancar (P_t) yang dibutuhkan maupun jarak (R) daerah cakupannya (coverage area).

6.2. S A R A N

Karakteristik propagasi gelombang radio pada sistem komunikasi STKB Cellular perlu sekali untuk diketahui. Hal ini sangat berguna dalam perencanaan jaringan cellular.

DAFTAR PUSTAKA

1. ARREDONDO, G.A., FRGgeler, J.C., SMITH J.I., "AMPS : VOICE AND DATA TRANSMISSION", The Bell System Technical Journal, Vol 58, Januari 1979.
2. Di Piazza, G.C., Plitkins, A. and Zysdman, G.I., "AMPS : The Cellular Test Bed", The Bell System Technical Journal, Vol 58, Januari 1979.
3. EIA Interim Standart IS-3-D : Cellular Cystem, Mobile Station - Land Station, Compatibility Specification, Electronic Industries Association, Maret 1987.
4. Ericsson automatic Mobile telepon System Survey, L.M. Ericsson, 1984
5. French, Richart C. "The Effect Of Fading and Shadowing on Channal Reuse in Mobile Radio", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.VT-29, 1980.
6. Hata, Masaharu. "Emperical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Services", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. VT-29, Agustus 1980.
7. Jakes, Williem C. "Microwave Mobile Communications. John Willey 7 Sons, Inc., New York, 1974.
8. Lee, William C.Y., "Mobile Communication Engineering"., McGaw Hill Book Co., 1982.
9. —————, "Mobile Communications Design Fundamentals", Howard W. Sams & Co., 1986

10. _____, "Mobile Cellular Telecommunications System". McGraw Hill Book Co., 1989.
11. MAC DONALD, V.H., "AMPS : The Cellular Concept", The Bell System Technical Journal, Vol. 58, Januari 1979
12. Okumura, Y., OHMORI, E., KAWANO, T., FUKUDA, K., "Field Srength and Its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service", Review of The Electrical Com. Lab., Vol 16, Sept-Oct 1968.
13. Proposal For Nation wide Cellular Mobile Telephone System For The Republic Of Indonesia, Ericsson, Maret 1985.
14. Reudink, Douglas O., "Properties of Mobile Radio Propagation Above 400 MHz", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.VT-23, Nopember 1974.
15. System Handbook Sistem Telepon Kendaraan Bergerak Jakarta Multizone., PT Industri Telekomunikasi Indonesia.
16. Taub, Herbert and Donald L. Siling. "Principle of Communication System", McGraw Hill, Inc., New York, 1971.
17. Tecnical Specification for mobile Telephone Exchanges, Nordic Mobile Telephone Group, NMT Doc.2.1983
18. Tecnical Specification for The Mobile Station, Nordic Mobile Telephone Group, NMT Doc.3.1979
19. Tecnical Specification for The Base Station Equipment, Nordic Mobile Telephone Group, NMT Doc.4.1981
20. TEGUH PRASETYA M. W. P., "Studi Pengkajian Teknik

Pengukuran Kuat Medan Pada Sistem Radio Cellular",
Tugas Akhir, hal 60

21. Total Access Communication System, Mobile Station -
Land Station Compatibility Specification, United
Kingdom, Issue 3, October 1984.
22. YOUNG, W.R., "AMPS : Introduction, Background, And
Objective", The Bell system Technical Journal, Vol.
58, Januari 1979

TABEL ERROR FUNCTION (erf x)

The Probability Integral.

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.00000	00113	00226	00339	00451	00564	00677	00790	00903	01016
0.01	0.01128	01241	01354	01467	01580	01692	01805	01918	02031	02144
0.02	0.02256	02369	02482	02595	02708	02820	02933	03046	03159	03271
0.03	0.03384	03497	03610	03722	03835	03948	04060	04173	04286	04398
0.04	0.04511	04624	04736	04849	04962	05074	05187	05299	05412	05525
0.05	0.05637	05750	05862	05975	06087	06200	06312	06425	06537	06650
0.06	0.06762	06875	06987	07099	07212	07324	07437	07549	07661	07773
0.07	0.07886	07998	08110	08223	08335	08447	08559	08671	08784	08896
0.08	0.09008	09120	09232	09344	09456	09568	09680	09792	09904	10016
0.09	0.10128	10240	10352	10464	10576	10687	10799	10911	11023	11135
0.10	0.11246	11358	11470	11581	11693	11805	11916	12028	12139	12251
0.11	0.12362	12474	12585	12697	12808	12919	13031	13142	13253	13365
0.12	0.13476	13587	13698	13809	13921	14032	14143	14254	14365	14476
0.13	0.14587	14698	14809	14919	15030	15141	15252	15363	15473	15584
0.14	0.15695	15805	15916	16027	16137	16248	16358	16468	16579	16689
0.15	0.16800	16910	17020	17130	17241	17351	17461	17571	17681	17791
0.16	0.17901	18011	18121	18231	18341	18451	18560	18670	18780	18890
0.17	0.18999	19109	19218	19328	19437	19547	19656	19766	19875	19984
0.18	0.20094	20203	20312	20421	20530	20639	20748	20857	20966	21075
0.19	0.21184	21293	21402	21510	21619	21728	21836	21945	22053	22162
0.20	0.22270	22379	22487	22595	22704	22812	22920	23028	23136	23244
0.21	0.23352	23460	23568	23676	23784	23891	23999	24107	24214	24322
0.22	0.24430	24537	24645	24752	24859	24967	25074	25181	25288	25395
0.23	0.25502	25609	25716	25823	25930	26037	26144	26250	26357	26463
0.24	0.26570	26677	26783	26889	26996	27102	27208	27314	27421	27527
0.25	0.27633	27739	27845	27950	28056	28162	28268	28373	28479	28584
0.26	0.28690	28795	28901	29006	29111	29217	29322	29427	29532	29637
0.27	0.29742	29847	29952	30056	30161	30266	30370	30475	30579	30684
0.28	0.30783	30888	30992	31096	31200	31304	31408	31512	31616	31720
0.29	0.31828	31932	32036	32139	32243	32346	32450	32553	32656	32760
0.30	0.32863	32966	33069	33172	33275	33378	33480	33583	33686	33788
0.31	0.33891	33993	34096	34198	34300	34403	34505	34607	34709	34811
0.32	0.34913	35014	35116	35218	35319	35421	35523	35624	35725	35827
0.33	0.35928	36029	36130	36231	36332	36433	36534	36635	36735	36836
0.34	0.36936	37037	37137	37238	37338	37438	37538	37638	37738	37838
0.35	0.37938	38038	38138	38237	38337	38436	38536	38635	38735	38834
0.36	0.38933	39032	39131	39230	39329	39428	39526	39625	39724	39822
0.37	0.39921	40019	40117	40215	40314	40412	40510	40608	40705	40803
0.38	0.40901	40999	41096	41194	41291	41388	41486	41583	41680	41777
0.39	0.41874	41971	42068	42164	42261	42358	42454	42550	42647	42743
0.40	0.42839	42935	43031	43127	43223	43319	43415	43510	43606	43701
0.41	0.43797	43892	43988	44083	44178	44273	44368	44463	44557	44652
0.42	0.44747	44841	44936	45030	45124	45219	45313	45407	45501	45595
0.43	0.45689	45782	45876	45970	46063	46157	46250	46343	46436	46529
0.44	0.46623	46715	46808	46901	46994	47086	47179	47271	47364	47456
0.45	0.47548	47640	47732	47824	47916	48008	48100	48191	48283	48374
0.46	0.48466	48557	48648	48739	48830	48921	49012	49103	49193	49284
0.47	0.49375	49465	49555	49646	49736	49826	49916	50006	50096	50185
0.48	0.50275	50365	50454	50543	50633	50722	50811	50900	50989	51078
0.49	0.51167	51256	51344	51433	51521	51609	51698	51786	51874	51962

The Probability Integral

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.50	0.52050	52138	52226	52313	52401	52488	52576	52663	52750	52837
0.51	0.52924	53011	53098	53185	53272	53358	53445	53531	53617	53704
0.52	0.53790	53876	53962	54048	54134	54219	54305	54390	54476	54561
0.53	0.54646	54732	54817	54902	54987	55071	55156	55241	55325	55410
0.54	0.55494	55578	55662	55746	55830	55914	55998	56082	56165	56249
0.55	0.56332	56416	56499	56582	56665	56748	56831	56914	56996	57079
0.56	0.57162	57244	57326	57409	57491	57573	57655	57737	57818	57900
0.57	0.57982	58063	58144	58226	58307	58388	58469	58550	58631	58712
0.58	0.58792	58873	58953	59034	59114	59194	59274	59354	59434	59514
0.59	0.59594	59673	59753	59832	59912	59991	60070	60149	60228	60307
0.60	0.60386	60464	60543	60621	60700	60778	60856	60934	61012	61090
0.61	0.61168	61246	61323	61401	61478	61556	61633	61710	61787	61864
0.62	0.61941	62018	62095	62171	62248	62324	62400	62477	62553	62629
0.63	0.62705	62780	62856	62932	63007	63083	63158	63233	63309	63384
0.64	0.63459	63533	63608	63683	63757	63832	63906	63981	64055	64129
0.65	0.64203	64277	64351	64424	64498	64572	64645	64718	64791	64865
0.66	0.64938	65011	65083	65156	65229	65301	65374	65446	65519	65591
0.67	0.65663	65735	65807	65878	65950	66022	66093	66165	66236	66307
0.68	0.66378	66449	66520	66591	66662	66732	66803	66873	66944	67014
0.69	0.67084	67154	67224	67294	67364	67433	67503	67572	67642	67711
0.70	0.67780	67849	67918	67987	68056	68125	68193	68262	68330	68398
0.71	0.68467	68535	68603	68671	68738	68806	68874	68941	69009	69076
0.72	0.69143	69210	69278	69344	69411	69478	69545	69611	69678	69744
0.73	0.69810	69877	69943	70009	70075	70140	70206	70272	70337	70403
0.74	0.70468	70533	70598	70663	70728	70793	70858	70922	70987	71051
0.75	0.71116	71180	71244	71308	71372	71436	71500	71563	71627	71690
0.76	0.71754	71817	71880	71943	72006	72069	72132	72195	72257	72320
0.77	0.72382	72444	72507	72569	72631	72693	72755	72816	72878	72940
0.78	0.73001	73062	73124	73185	73246	73307	73368	73429	73489	73550
0.79	0.73610	73671	73731	73791	73851	73911	73971	74031	74091	74151
0.80	0.74210	74270	74329	74388	74447	74506	74565	74624	74683	74742
0.81	0.74800	74859	74917	74976	75034	75092	75150	75208	75266	75323
0.82	0.75381	75439	75496	75553	75611	75668	75725	75782	75839	75896
0.83	0.75952	76009	76066	76122	76178	76234	76291	76347	76403	76459
0.84	0.76514	76570	76626	76681	76736	76792	76847	76902	76957	77012
0.85	0.77067	77122	77176	77231	77285	77340	77394	77448	77502	77556
0.86	0.77610	77664	77718	77771	77825	77878	77932	77985	78038	78091
0.87	0.78144	78197	78250	78302	78355	78408	78460	78512	78565	78617
0.88	0.78669	78721	78773	78824	78876	78928	78979	79031	79082	79133
0.89	0.79184	79235	79286	79337	79388	79439	79489	79540	79590	79641
0.90	0.79691	79741	79791	79841	79891	79941	79990	80040	80090	80139
0.91	0.80188	80238	80287	80336	80385	80434	80482	80531	80580	80628
0.92	0.80677	80725	80773	80822	80870	80918	80966	81013	81061	81109
0.93	0.81156	81204	81251	81299	81346	81393	81440	81487	81534	81580
0.94	0.81627	81674	81720	81767	81813	81859	81905	81951	81997	82043
0.95	0.82089	82135	82180	82226	82271	82317	82362	82407	82452	82497
0.96	0.82542	82587	82632	82677	82721	82766	82810	82855	82899	82943
0.97	0.82997	83031	83075	83119	83162	83206	83250	83293	83337	83380
0.98	0.83423	83466	83509	83552	83595	83638	83681	83723	83766	83808
0.99	0.83851	83893	83935	83977	84020	84061	84103	84145	84187	84229

The Probability Integral

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

<i>z</i>	0	2	4	6	8	<i>z</i>	0	2	4	6	8
1.50	0.96611	96634	96658	96681	96705	2.00	0.99532	99536	99540	99544	99548
1.51	0.96728	96751	96774	96796	96819	2.01	0.99552	99556	99560	99564	99568
1.52	0.96841	96864	96886	96908	96930	2.02	0.99572	99576	99580	99583	99587
1.53	0.96952	96973	96995	97016	97037	2.03	0.99591	99594	99598	99601	99605
1.54	0.97059	97080	97100	97121	97142	2.04	0.99609	99612	99616	99619	99622
1.55	0.97162	97183	97203	97223	97243	2.05	0.99626	99629	99633	99636	99639
1.56	0.97263	97283	97302	97322	97341	2.06	0.99642	99646	99649	99652	99655
1.57	0.97360	97379	97398	97417	97436	2.07	0.99658	99661	99664	99667	99670
1.58	0.97455	97473	97492	97510	97528	2.08	0.99673	99676	99679	99682	99685
1.59	0.97546	97564	97582	97600	97617	2.09	0.99688	99691	99694	99697	99699
1.60	0.97635	97652	97670	97687	97704	2.10	0.99702	99705	99707	99710	99713
1.61	0.97721	97738	97754	97771	97787	2.11	0.99715	99718	99721	99723	99726
1.62	0.97804	97820	97836	97852	97868	2.12	0.99728	99731	99733	99736	99738
1.63	0.97884	97900	97916	97931	97947	2.13	0.99741	99743	99745	99748	99750
1.64	0.97962	97977	97993	98008	98023	2.14	0.99753	99755	99757	99759	99762
1.65	0.98038	98052	98067	98082	98096	2.15	0.99764	99766	99768	99770	99773
1.66	0.98110	98125	98139	98153	98167	2.16	0.99775	99777	99779	99781	99783
1.67	0.98181	98195	98209	98222	98236	2.17	0.99785	99787	99789	99791	99793
1.68	0.98249	98263	98276	98289	98302	2.18	0.99795	99797	99799	99801	99803
1.69	0.98315	98328	98341	98354	98366	2.19	0.99805	99806	99808	99810	99812
1.70	0.98379	98392	98404	98416	98429	2.20	0.99814	99815	99817	99819	99821
1.71	0.98441	98453	98465	98477	98489	2.21	0.99822	99824	99826	99827	99829
1.72	0.98500	98512	98524	98535	98546	2.22	0.99831	99832	99834	99836	99837
1.73	0.98553	98569	98580	98591	98602	2.23	0.99839	99840	99842	99843	99845
1.74	0.98613	98624	98635	98646	98657	2.24	0.99846	99848	99849	99851	99852
1.75	0.98667	98678	98688	98699	98709	2.25	0.99854	99855	99857	99858	99859
1.76	0.98719	98729	98739	98749	98759	2.26	0.99861	99862	99863	99865	99866
1.77	0.98769	98779	98789	98798	98808	2.27	0.99867	99869	99870	99871	99873
1.78	0.98817	98827	98836	98846	98855	2.28	0.99874	99875	99876	99877	99879
1.79	0.98864	98873	98882	98891	98900	2.29	0.99880	99881	99882	99883	99885
1.80	0.98909	98918	98927	98935	98944	2.30	0.99886	99887	99888	99889	99890
1.81	0.98952	98961	98969	98978	98986	2.31	0.99891	99892	99893	99894	99896
1.82	0.98994	99003	99011	99019	99027	2.32	0.99897	99898	99899	99900	99901
1.83	0.99035	99043	99050	99058	99066	2.33	0.99902	99903	99904	99905	99906
1.84	0.99074	99081	99089	99096	99104	2.34	0.99906	99907	99908	99909	99910
1.85	0.99111	99118	99126	99133	99140	2.35	0.99911	99912	99913	99914	99915
1.86	0.99147	99154	99161	99168	99175	2.36	0.99915	99916	99917	99918	99919
1.87	0.99182	99189	99196	99202	99209	2.37	0.99920	99920	99921	99922	99923
1.88	0.99216	99222	99229	99235	99242	2.38	0.99924	99924	99925	99926	99927
1.89	0.99248	99254	99261	99267	99273	2.39	0.99928	99928	99929	99930	99930
1.90	0.99279	99285	99291	99297	99303	2.40	0.99931	99932	99933	99933	99934
1.91	0.99309	99315	99321	99326	99332	2.41	0.99935	99935	99936	99937	99937
1.92	0.99335	99343	99349	99355	99360	2.42	0.99938	99939	99939	99940	99940
1.93	0.99366	99371	99376	99382	99387	2.43	0.99941	99942	99942	99943	99943
1.94	0.99392	99397	99403	99408	99413	2.44	0.99944	99945	99945	99946	99946
1.95	0.99418	99423	99428	99433	99438	2.45	0.99947	99947	99948	99949	99949
1.96	0.99443	99447	99452	99457	99462	2.46	0.99950	99950	99951	99951	99952
1.97	0.99466	99471	99476	99480	99485	2.47	0.99952	99953	99953	99954	99954
1.98	0.99489	99494	99498	99502	99507	2.48	0.99955	99955	99956	99956	99957
1.99	0.99511	99515	99520	99524	99528	2.49	0.99957	99958	99958	99958	99959
2.00	0.99532	99536	99540	99544	99548	2.50	0.99959	99960	99960	99961	99961

The Probability Integral.

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx. \right)$$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.5	0.99959	99961	99963	99965	99967	99969	99971	99972	99974	99975
2.6	0.99976	99978	99979	99980	99981	99982	99983	99984	99985	99986
2.7	0.99987	99987	99988	99989	99989	99990	99991	99991	99992	99992
2.8	0.99992	99993	99993	99994	99994	99994	99995	99995	99995	99996
2.9	0.99996	99996	99996	99997	99997	99997	99997	99997	99997	99998
3.0	0.99998	99998	99998	99998	99998	99998	99998	99998	99998	99999

The value, I , of the Probability Integral may always be found from the convergent series

$$I = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3 \cdot 1!} + \frac{x^5}{5 \cdot 2!} - \frac{x^7}{7 \cdot 3!} + \dots \right).$$

but for large values of x , the semiconvergent series

$$I = 1 - \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{1 \cdot 3}{(2x)^2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{(2x)^3} + \dots \right)$$

is convenient

USULAN TUGAS AKHIR

A. JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
PROPAGASI GELOMBANG RADIO PADA
BEBERAPA SISTEM STKB CELLULAR

B. RUANG LINGKUP : Materi yang dapat menunjang studi
ini adalah :

- Sistem Komunikasi
- Sistem Modulasi
- Teleponi & telegrafi

C. LATAR BELAKANG : Saat ini kebutuhan akan sarana
telekomunikasi semakin meningkat.
Dimana sarana ini diharapkan selalu
hadir setiap saat.

Kemudian seiring dengan kemajuan
teknologi telekomunikasi maka
dikembangkan sistem STKB CELLULAR,
yaitu sistem komunikasi radio mobil
yang membagi daerah cakupan
(coverage area) dalam sel-sel.
Dimana pada sel itu terdapat base
station yang gunanya untuk
berhubungan dengan stasion mobil.

Di dunia ini dikenal tiga sistem
STKB CELLULAR yang telah diakui
secara internasional yaitu sistem

yang meliputi besarnya redaman propagasi pada beberapa daerah (urban, sub urban, dan open area) dan daya penerimaan dengan memperhatikan faktor kondisi daerah tersebut. Dan dibahas juga pengaruh fading dan shadowing terhadap kualitas sinyal dan interferensi yang terjadi.

Kemudian dibahas perbandingan pada beberapa standar sistem STKB Cellular yaitu sistem AMPS, sistem NMT, dan sistem TACS.

E. T U J U A N

: Untuk mengetahui aspek - aspek perencanaan sel pada sistem STKB CELLULAR, dalam hal ini karakteristik propagasi gelombang radio.

Dan membandingkannya pada beberapa standar sistem STKB tersebut untuk diketahui keunggulan dan kekurangannya.

F. LANGKAH - LANGKAH : - Studi Literatur

- Pengumpulan Data
- Pengolahan Data
- Pengolahan Data

NMT yang dikembangkan negara Skandinavia mulai digunakan tahun 1981. Sistem kedua adalah sistem AMPS yang dikembangkan negara Amerika Serikat digunakan sejak tahun 1983. Sistem ketiga adalah sistem TACS dikembangkan oleh negara Inggris mulai dioperasikan awal 1985.

Karena sistem ini menggunakan media udara sebagai penyaluran informasi, maka dalam merencanakan suatu sel pada sistem STKB Cellular harus memperhitungkan faktor propagasi gelombang radio dimana redaman propagasi dan keadaan daerah akan menentukan besarnya daya yang dibutuhkan untuk daerah cakupan (coverage area) suatu sel yang diinginkan. Demikian juga fading dan shadowing akan menentukan kualitas sinyal dan besarnya interferensi pada penerima.

D. PENELAAHAN STUDI : Pada Tugas akhir ini akan dibahas karakteristik propagasi gelombang radio pada sistem STKB Cellular

G. J A D W A L

Jenis Kegiatan	B U L A N					
	1	2	3	4	5	6
1. Studi Literatur						
2. Pengumpulan Data						
3. Pengolahan Data						
4. Penulisan Naskah						

H. RELEVANSI

: Hasil dari studi ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan sistem STKB CELLULAR terutama dilihat dari aspek propagasi gelombang radio.

RIWAYAT HIDUP



Penyusun dilahirkan di Jember, pada tanggal 12 Oktober 1965 dengan nama : A. Boedi Udhayana, dari pasangan orang tua J Soeharko Poesposepoetro dan C. Roosiliani.

Riwayat pendidikan penyusun :

1. SDK MARIA FATIMA II JEMBER ,lulus tahun 1977
2. SMPK BERSUBSIDI JEMBER ,lulus tahun 1981
3. SMA NEGERI I JEMBER ,lulus tahun 1984

Sejak tahun 1984 penyusun diterima menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro ITS. Saat ini penyusun sedang menyusun Tugas Akhir pada bidang Studi Teknik Telekomunikasi.